

MARIN
2, Haagsteeg
P.O. Box 28
6700 AA Wageningen
The Netherlands
Phone +31 317 479911
Fax +31 317 479999
Internet www.marin.nl
E-mail info@marin.nl

Rapport Nr. 16208.600/4

**NAUTISCHE TOEGANKELIJKHEID EN
VEILIGHEID VAN HET SCHELDE
ESTUARIUM IN HET KADER VAN DE
LANGETERMIJNVISIE**

24 januari 2001

NAUTISCHE TOEGANKELIJKHEID EN VEILIGHEID VAN HET SCHELDE ESTUARIUM IN HET KADER VAN DE LANGETERMIJNVISIE

Opdrachtgever : Ministerie van Verkeer en Waterstaat Directie
Zeeland Postbus 5014 4340 KA MIDDELBURG
Referentie : 16208.600

Auteur : ir. J.T.M. van Doorn
ir. C. van der Tak

INHOUDSOPGAVE

Hoofdstuk	Pag
1 INLEIDING	3
2 DOELSTELLING	4
3 ONTWIKKELINGEN IN DE WERELDVLOOT	5
3.1 Samenstelling van de wereldvloot in 1998	5
3.2 Groei van scheepsafmetingen en groei van de wereldvloot	5
3.3 Chemicaliën tankers	6
3.4 LNG-schepen	7
3.5 LPG-schepen	7
3.6 Bulkcarriers	7
3.7 General cargo schepen	8
3.8 Containerschepen	8
3.9 Roro-schepen	10
3.10 Tankers	10
3.11 Voorspelling van de scheepsafmetingen	10
4 DE VERWACHTE GROEI VAN HET TRANSPORT IN HET SCHELDE-ESTUARIUM	11
4.1 Economische groei	11
4.2 De verwachte verkeersintensiteit;	11
4.3 Een vergelijking van de toegankelijkheid en de wereldvloot	12
5 HUIDIGE GEULAFMETINGEN EN NIEUWE BENODIGDE GEUL-AFMETINGEN	14
5.1 Inleiding	14
5.2 Geulindeling en maatgevende condities	14
5.3 Keuze van de schepen	16
5.3 PIANC	16
5.4 MSCN-methodiek	19
6 VERBREIDING EN/OF NAVIGATIE ONDERSTEUNENDE MAATREGELN	25
6.1 Inleiding	25
7 DE CONSEQUENTIES VOOR DE BINNENVAART	29
8 MOGELIJKHEID EN RESTRICTIES MET BETREKKING TOT HET LICHTEREN VAN ZEESCHEPEN IN DE VAARGEUL	31
9 VEILIGHEID IN HET SCHELDE-ESTUARIUM	33
9.1 Inleiding	33
9.2 Aanpak voor het gebruik van MANS voor de langetermijnvisie Schelde-estuarium	34
9.3 Uitwerking van het stappenplan	34
9.4 Overzichtstabellen	51
9.5 Verkeersmaatregelen	55
9.6 Samenvatting van alle resultaten en conclusies van de veiligheidsstudie	56
10 SAMENVATTING EN CONCLUSIES	58
10.1 Samenvatting	58
10.2 Conclusies	59
10.3 Aanbevelingen	65

1 INLEIDING

De ontwikkeling van een langetermijnvisie voor het Schelde-estuarium (LTV-SE) tezamen met Vlaanderen beoogt het voorbereiden van de visie op de terreinen toegankelijkheid, veiligheid en natuurlijkheid. Het voorliggende deelonderzoek betreft de samenhang tussen het technisch (vaarweg) en het nautisch (scheepvaart) beheer van de vaarweg vanuit zee tot bij Antwerpen. Dit onderzoek is voorafgegaan door een economisch 'nut en noodzaak' deelonderzoek en wordt gevolgd door een extern veiligheidsonderzoek.

Het geheel van de onderzoeken moet inzicht geven in welke vaarwegontwikkelingen op verantwoorde wijze (uit veiligheids- en economisch oogpunt) uitgevoerd kunnen worden teneinde aan de te verwachten en gevraagde globale scheepvaartontwikkelingen tot 2030 te kunnen voldoen.

Met de orderbon 310009, gedateerd 6 maart 2000 heeft Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, aan MARIN opdracht gegeven om een langetermijnvisie te ontwikkelen voor het Schelde-estuarium. Dit onderzoek wordt uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Directie Zeeland en het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie waterwegen en Zeewezen, Afdeling Maritieme Schelde. Het onderzoek is begeleid door LTV Schelde-estuarium Werkgroep Toegankelijkheid, Subwerkgroep Nautiek. Deze werkgroep is als volgt samengesteld:

J. Claessens (Belgische voorzitter),	AWZ – Maritieme Schelde
J.W.P. Prins (Nederlandse voorzitter),	RWS – Directie Zeeland
L. Thijs,	Loods
W. Vanhove,	Loods
W. de Bruyn,	AWZ – Loodswezen
E. Legein,	AWZ – Loodswezen
M.C. Visser,	RWS – Directie Zeeland
J.L. Schot,	RLC Scheldemonden
J. Gauderis (secretaris)	Resource Analysis

Het onderzoek is uitgevoerd door J.T.M. van Doorn en C. van der Tak, beide werkzaam bij het nautisch simulatie centrum MSCN. MSCN is een onderdeel van MARIN.

2 DOELSTELLING

De doelstelling van dit onderzoek is verwoord in de volgende zeven vragen:

1. Wat is de verwachte ontwikkeling van diverse scheepstypen (aantallen schepen, scheepsgrootte en afmetingen, vlootsamenstelling, etc.) van de wereldhandelsvloot en in het bijzonder de wereldhandelsvloot in relatie tot het Schelde-estuarium?
2. Welke eisen stellen de onder 1 bedoelde scheepstypen aan de (hoofd)vaarweg vanaf de zee (loodskruispost Wandelaar) tot en met de Rede van Antwerpen en de overige Nederlandse en Vlaamse Scheldehavens (vice versa), in termen van breedte, diepte, bochtstralen, etc.?
3. Welke vaarmogelijkheden (randvoorwaarden) biedt een eventueel verruimde hoofdvaargeul aan welke aantallen, afmetingen, e.d. van de verschillende scheepstypen?
4. Is getij onafhankelijke vaart met een diepgang van 14 meter mogelijk, en zo ja, onder welke voorwaarden?

De nadruk bij deze vraag ligt op grote en diepstekende containerschepen die varen tussen Antwerpen en de loodskruispost Wandelaar.

5. Is getijgebonden vaart met een diepgang tot (ca.) 16,20 meter mogelijk, en zo ja, onder welke voorwaarden?

Dit betreft met name grote en diepstekende bulkcarriers, opvarend van de loodskruispost richting Antwerpen.

6. Wat zijn de mogelijkheden (en restricties) met betrekking tot het lichter van grote zeeschepen?
7. Wat voor een invloed heeft de toename van het verkeer op het aantal ongevallen?

Hieraan gekoppeld kan de vraag worden gesteld wat de invloed van toekomstige ontwikkelingen is op de risicocontouren ten gevolge van transport van gevaarlijke stoffen. Dit wordt beschouwd in een vervolg onderzoek.

3 ONTWIKKELINGEN IN DE WERELDVLOOT

Om inzicht te krijgen in de ontwikkelingen in de wereldvloot worden de volgende analyses uitgevoerd:

- samenstelling van de huidige wereldvloot (1998);
- de groei van de wereldvloot tussen 1998 en 2008/2010;
- de samenstelling van de wereldvloot rond 2030.

3.1 Samenstelling van de wereldvloot in 1998

De samenstelling van de wereldvloot in 1998 wordt verkregen uit "Lloyds' Register of Shipping World Fleet Statistics, 1998" [3.1]. Naast de totale vloot geeft deze publicatie ook informatie over de leeftijdsopbouw van de vloot en het aantal gesloopte en verloren schepen.

De informatie in dit rapport wordt samengevat in tabellen met aantallen schepen in 1998 per dead weight klasse. Voor gasschepen worden de gegevens ook gepubliceerd in kubieke meters, voor containerschepen in TEU. De volgende scheepstypen worden onderscheiden:

- Chemicaliën tanker;
- LNG carriers;
- LPG carriers;
- Tankers;
- Bulkcarriers;
- Vrachtschepen;
- Containerschepen;

Schepen die wel in Lloyds zijn opgenomen maar verder niet beschouwd worden in dit onderzoek zijn vissersschepen, offshore schepen, koelschepen en passagierschepen. De informatie die uit Lloyds wordt gebruikt, wordt samen met de verwachting voor 2020 gepresenteerd in paragraaf 3.2.

3.2 Groei van scheepsafmetingen en groei van de wereldvloot

Naast de samenstelling van de wereldvloot geeft de Lloyds database ook inzicht in de leeftijdsopbouw van de schepen en het aantal schepen dat in 1998 is opgeleverd. Aan de hand van deze gegevens kan er een voorzichtige trend voor de verschillende scheepsklassen worden afgeleid.

Daarnaast geeft Drewry [3.2] eigen data voor wat betreft vlootsamenstelling en de verwachtingen van het aantal te bouwen schepen tot 2008. Samen met de Lloyds data is dit gebruikt om de vlootsamenstelling tot 2010 te bepalen. Dit is echter alleen mogelijk voor die scheepstypen waar de vlootsamenstelling volgens Drewry en volgens Lloyds niet te veel afwijken.

Hieronder wordt een overzicht gegeven van het totaal aantal schepen in de twee bestanden.

Scheepstype	Totalen Lloyds 1998	Totalen Drewry 1998	In opdracht Drewry 1998
Tankers			
- Ruwe olie	1760	1477	260
- Produkt tankers	5200	1422	234
Chemicaliën tankers	2363	1207	111
LPG-schepen	957	858	58
Bulkschepen	4939	5532	475
Vrachtschepen	17182	9600	152
Containerschepen	2382	2318	301
Roro-schepen	4265	1059	66

Tabel 3.1 *Aantallen schepen in de twee databases met vlootsamenstelling*

Erg grote verschillen worden gevonden bij product tankers, chemicaliën tankers, vrachtschepen en roro-schepen. Voor deze scheepsklassen hanteren Drewry en Lloyds verschillende definities of ze tellen vanaf een bepaalde klasse grootte. Bij het extrapoleren van data dient rekening te worden gehouden met deze verschillen.

Naast Lloyds en Drewry is ook incidenteel gebruik gemaakt van Fairplay data (Internet) voor aanvullende informatie. Zowel numerieke informatie als informatie over ontwikkelingen in de markt zijn hieruit gebruikt. Een laatste bron van informatie is een publicatie over scheepsafmetingen in 2020 [3.3]. Deze bron is vooral gebruikt voor de voorspelling van de scheepsafmetingen richting 2030.

In de onderstaande tekst worden per scheepstype de verwachtingen geschetst. Indien mogelijk is een berekening gemaakt van de vlootsamenstelling in 2010.

3.3 Chemicaliën tankers

Met chemicaliën tankers worden over het algemeen gespecialiseerde schepen bedoeld, geschikt voor het vervoeren van verschillende soorten chemicaliën. De grootte van deze gespecialiseerde schepen loopt op tot 50.000 dwt (dead weight ton). Echter, in de statistiek van Lloyds lopen de afmetingen door tot 90.000 dwt. In deze statistiek is enige vermenging tussen product tankers (voor olie producten) en chemicaliën tankers. Sommige product tankers hebben een speciale coating in hun tanks en kunnen om die reden speciale producten meenemen (minder agressieve chemicaliën). De Lloyds statistiek van chemicaliën tankers wordt gepresenteerd in figuur 2.1 (achter de tekst).

In de categorie van de gespecialiseerde chemicaliën tankers is er de laatste jaren rond de 50.000 dwt klasse veel gebouwd. Reders geven aan dat dit de maximale maat is voor de komende jaren. In figuur 2.2 wordt een overzicht gegeven van de huidige vlootsamenstelling volgens Drewry [3.2], inclusief de schepen in opdracht en de verwachte nieuwbouw tot 2010. Ook hieruit volgt dat de verdeling in scheepsafmetingen niet wezenlijk zal veranderen. De maximale leeftijd voor chemicaliën tankers is 24 jaar.

De verwachting is dat tot 2020/2030 de afmetingen niet wezenlijk zullen veranderen, zie ook [3.3].

3.4 LNG-schepen

Uit de Lloyds gegevens kan worden geconcludeerd dat er in de loop van de tijd zeer geleidelijk aan meer schepen in de 135.000 m³ range zijn gebouwd. Wordt de trend geëxtrapoleerd dan kan er worden geconcludeerd dat hier ook het zwaartepunt ligt voor de komende tien jaar (tot 2010). Het grootste schip in dat jaar is waarschijnlijk een 145.000 m³. Als grootste schip voor 2030 wordt uitgegaan van een 165.000 m³ schip. Voor 2020 [3.4] wordt dit voorspeld maar er zijn nu nog geen duidelijke tekenen van groei. Ook de gemiddelde leeftijd van LNG-carriers neemt toe. De gemiddelde staat van onderhoud van de schepen is goed, er is dan ook een trend om er zeker 25 jaar mee te varen.

Van dit scheepstype wordt verder geen vlootsamenstelling of groeiverwachting gegeven.

3.5 LPG-schepen

De opbouw in grootte van de LPG vloot is de laatste jaren redelijk constant gebleven. Het grootste schip in de vaart is 100.000 m³ (één schip). De schepen worden gemiddeld wat groter, maar het grootste schip zal niet groeien. Aangenomen wordt dat deze trend representatief is voor de periode tot 2030, zie ook [3.3].

Bij het extrapoleren van de vlootopbouw gaan we ervan uit dat de schepen na 26 jaar worden gesloopt. Een combinatie van Lloyds data, vlootsamenstelling 1998 en de groeiverwachting tot 2010 volgens Drewry resulteert in een vlootsamenstelling voor 2010. Deze wordt gegeven in figuur 2.3.

3.6 Bulkcarriers

Uit de Lloyds gegevens kan worden geconcludeerd dat er de laatste 10 jaar geen spectaculaire ontwikkelingen zijn in de bulksector. Het grootste schip is 365.000 ton, hiervan is er maar één in de vaart. Dit schip vaart in een long-term charter naar Rotterdam. Het is de verwachting dat dit schip over 10 jaar vervangen zal worden.

Een relatief klein deel van de bulkcarriervloot heeft afmetingen tussen de 175.000 en 325.000 ton. Grote aantallen komen voor in de 150.000 tot 175.000 tons klasse en 70.000 tot 80.000 tons klasse (Panamax).

De gemiddelde leeftijd van bulkcarriers neemt toe, het is de verwachting dat de meeste schepen gesloopt worden als ze 20 jaar oud zijn. Dit zijn de uitgangspunten voor de extrapolatie van de wereldvloot naar 2010, op basis van de Lloyds data en de Drewry voorspellingen van de nieuwbouw. De vlootsamenstelling voor 1998 en 2010 wordt gepresenteerd in figuur 2.4.

De verwachting tot 2030 is dat de situatie zo blijft. Het grootste schip blijft de 365.000 dwt bulkcarrier maar dit is een uitzondering.

3.7 General cargo schepen

Dit is een verzamelnaam voor een grote diversiteit aan vrachtschepen. Met de sterke opkomst van de containervaart is de verwachting dat het totaal aantal van dit type schepen sterk gaat verminderen. Echter, in de klasse van de kleinere schepen, tot 5000 dwt, worden er in de komende jaren behoorlijke aantallen gebouwd (orde 1200). Het grootste schip in de categorie vrachtschepen is 60.000 dwt. Mogelijk dat er een maat groter gebouwd gaat worden (70.000 dwt) in de periode tot 2030, maar meer groei in afmetingen is er niet te verwachten.

Het is niet mogelijk om een voorspelling te maken op basis van Lloyds data, de verschillen tussen de Lloyds vlootsamenstelling en die van Drewry zijn te groot, dit komt waarschijnlijk door een verschil in definitie van het scheepstype. Daarom wordt de huidige situatie (1998) volgens Lloyds gepresenteerd in figuur 2.5. De groei wordt gepresenteerd op basis van data uit Drewry [3.2], in figuur 2.6.

Uit figuur 2.6 kan worden geconstateerd dat het niveau van de nieuwbouw laag is en dat het aantal vrachtschepen zal afnemen. Dit geldt met name voor de kleinere schepen.

3.8 Containerschepen

De groei van de containerschepen is duidelijk waarneembaar in de Lloyds statistiek. Echter, om meer informatie over de trend te kunnen verkrijgen is er gebruik gemaakt van een Lloyds bestand met informatie over schepen die in 1995 noordwest Europa hebben bezocht. Dit bestand dateert uit 1995 en daarom is het voor containerschepen aangevuld met data van Fairplay, nieuwbouw vanaf 1996 tot en met de huidige order portefeuille (maart 2000).

In de afgelopen 25 jaar zijn zowel DWT als het aantal TEU's van het grootste containerschip ongeveer verdubbeld. In 1998 was het grootste schip ongeveer 105.000 dwt, 25 jaar geleden 50.000 dwt. Op basis van de Fairplay data kan worden geconstateerd dat deze schepen nog wel even de grootste zullen blijven, omdat er nog geen grotere schepen in opdracht zijn.

In figuur 2.7 wordt een overzicht gegeven van de gebouwde schepen sinds 1965 de grootte als functie van het bouwjaar. Aan deze figuur valt op dat de grootste schepen groeien maar dat er voortdurend in alle maten wordt bijgebouwd. Deze figuur is opgebouwd uit bovengenoemde Lloyds data en de toegevoegde Fairplay data.

Als ervan uitgegaan wordt dat het verleden iets zegt over de toekomst, dan is het mogelijk om een lange termijn predictie te maken op grond van de ontwikkeling in het verleden. Aangenomen wordt dat het aantal containers aan boord en de afmetingen van de schepen kwadratisch aan elkaar gerelateerd zijn. Normaal zou dit met de derde macht gaan (het volume), maar de schepen groeien relatief weinig in diepgang.

We kunnen uitgaan van drie 'stappen', met de volgende maatgevende schepen:

1972	3055 TEU
1984	4258 TEU
1999	8700 TEU

Hieruit kan een gemiddeld, hoog en laag scenario worden geconstrueerd. Het lage scenario is gemiddeld over 1972 en 1984, het gemiddelde scenario is gemiddeld tussen 1972 en 1999 en het hoge scenario tussen 1984 en 1999. Met deze scenario's kunnen de volgende voorspellingen worden gemaakt:

Jaar	Laag	Gemiddeld	Hoog
2000	8861	8969	9057
2005	9663	10351	10920
2010	10499	11832	12958
2020	12276	15091	17556
2030	14193	18746	22852

Tabel 3.2 Voorspelling van de grootte van containerschepen, uitgedrukt in TEU

De uitkomst van de gemiddelde voorspelling voor 2020 komt overeen met [3.3], 15,000 TEU in 2020.

Representatieve afmetingen voor verschillende maten containerschepen worden gegeven in de onderstaande tabel:

		1999	Suezmax [3.4]	Malaccamax [3.4]	Grootste in 2020 [3.3]
Loa	[m]	347	400	400	400
B	[m]	42.8	50	60	69
T	[m]	14.5	17.04	21	14
TEU	[-]	8700	12000	18000	15000

Tabel 3.3 Drie maatgevende afmetingen van containerschepen

Wat opvalt aan deze grotere containerschepen is dat de lengte wordt gelimiteerd op 400 meter. Uit de prognose volgt dat de 12.000 TEU wordt gehaald rond 2010 (gemiddelde prognose). Dit schip, de Suezmax, heeft een breedte en diepgang die overeenkomt met de veel voorkomende grotere bulkcarriers en tankers. Schepen waarvoor nu infrastructuur aanwezig is en waarin men in het verleden bereid is geweest te investeren.

Grotere schepen, zowel tankers als bulkcarriers, hebben het niet gehaald. Hier ging om heel veel redenen de 'economy of scale' niet meer op.

De Malaccamax [3.4] en het grootste schip uit [3.3] zijn beide onhandig breed en kunnen hierdoor (nu) relatief weinig havens binnen. Dit geldt zeker voor de Malaccamax met zijn grote diepgang. Als deze schepen gebouwd gaan worden dan gaan ze varen op een vaste route waar infrastructuur en scheepsgrootte op elkaar zijn afgestemd. Een ontwikkeling die zich ook heeft voorgedaan bij de bulkcarriers.

De Suezmax lijkt een redelijk maximum tot 2010, voorbij dit jaar zouden er wellicht nog grotere schepen kunnen komen, maar deze worden gebouwd voor een specifieke route. Een 15.000 TEU schip als maximum voor 2020/2030 lijkt een redelijke schatting. In deze studie gaan we ervan uit dat zo'n schip gedeeltelijk beladen (tot 14 meter) Antwerpen zal bezoeken.

Op basis van Lloyds data en de prognoses van Drewry is er een prognose gemaakt voor de vlootsamenstelling in 2010, figuur 2.8. Hierbij is ervan uitgegaan dat de schepen na 26 jaar worden gesloopt. Over de leeftijd waarop schepen gesloopt worden is geen informatie beschikbaar, op dit moment wordt er nog weinig gesloopt.

3.9 Roro-schepen

In de beschikbare literatuur is er weinig te vinden over de ontwikkeling van het roro-vervoer. Hier is verder ook niet specifiek aandacht aan besteed omdat roro in het Schelde-estuarium gebied niet als maatgevend wordt beschouwd.

Roro-vervoer kan worden ingedeeld in twee delen:

- het transport van personenauto's;
- het vervoer van trailers.

De verwachting is dat het vervoer van personenauto's wereldwijd nog enigszins zal groeien. Hiermee mogelijk ook het aantal autoschepen of de afmetingen hiervan.

Over het vervoer van trailers is weinig informatie gevonden. Het is bekend dat de Europese overheden het vervoer over water wil stimuleren. Met name roro staat hierbij in de belangstelling. Helaas zijn hierover verder geen prognoses gevonden.

In figuur 2.9 wordt een overzicht gegeven van de huidige roro-vloot (schepen groter dan 5000 ton) op basis van Lloyds data (1998), met daarbij de gemiddelde leeftijd per grootte klasse. Voor de meeste klassen zit de gemiddelde leeftijd rond de 12 tot 14 jaar.

In figuur 2.10 wordt de vlootsamenstelling volgens Drewry gepresenteerd met daarbij de verwachte nieuwbouw tot 2010. Aangezien de roro-schepen gemiddeld vrij jong zijn kan men aannemen dat de totale vloot wat zal toenemen.

3.10 Tankers

De bezetting van tankers en de vrachtprijzen voor het transport van olie fluctueren sterk. Daarnaast is er een sterke diversificatie op gang gekomen in de transport routes. Dit tempert de korte termijn vooruitzichten voor de VLCC's ten gunste van de Suezmax tankers. Belangrijke gebieden voor deze schepen zijn de Zwarte zee, Middellandse zee en de Noordzee. Op wat langere termijn is de verwachting dat juist de VLCC's het weer iets beter gaan doen (route Golf – Europa) en de Suezmax wat minder. De sterkste categorie tankers is de Aframax, die speelt een belangrijke (en groeiende) rol voor regionaal transport in Azië, Indonesië, Maleisië en Zuid-Amerika.

3.11 Voorspelling van de scheepsafmetingen

Voor deze studie is het noodzakelijk om enig inzicht te hebben in de relatie tussen hoofdafmetingen van schepen. Met name lengte tussen de loodlijnen (Lpp), breedte (B) en diepgang (T). Om hier iets over te kunnen zeggen is gebruik gemaakt van een Lloyds bestand, schepen die tot 1995 op de Noordzee zijn gesignaleerd, waar nodig aangevuld met data van Fairplay.

De resulterende grafieken worden gepresenteerd in Appendix A.

4 DE VERWACHTE GROEI VAN HET TRANSPORT IN HET SCHELDE-ESTUARIUM

4.1 Economische groei

Om een schatting te kunnen maken van de groei van het scheepvaart verkeer in het gebied, wordt gebruik gemaakt van het rapport van Policy Research Corporation, afgekort PRC [4.1]. Dit geeft de verwachting voor het aantal schepen in 2020. Vanuit deze verwachting is het verkeersbeeld ontwikkeld wat gebruikt is in hoofdstuk 9.

4.2 De verwachte verkeersintensiteit;

Voor de ongevalanalyse is, op basis van het PRC rapport, een schatting gemaakt van de verwachte verkeersintensiteit in 2020. Bij de geuldimensionering speelt deze intensiteit een rol als er bepaald moet worden wanneer enkelstrooks verkeer acceptabel is.

In tabel 4.1 (achter de tekst) wordt een overzicht gegeven van het aantal passerende schepen per jaar als functie van deadweight klasse en geuldeel. Deze tabel is afgeleid van de ongevalstudie, de Gt klassen groter dan 10.000 ton zijn omgerekend naar deadweight om daar de maatgevende afmetingen bij te kunnen zoeken. Resultaten, aantallen schepen in 1998 en in 2010, worden gepresenteerd voor de trajecten:

- voor Zeebrugge (vaargeul 1);
- Wielingen (Scheur Oost tot en met Wielingen);
- Sloehaven-Terneuzen (geulvakken 10 en 11);
- Richting Antwerpen (vanaf Hansweert tot de Zandvlietsluizen).

Voor de analyse van het verkeer wordt voornamelijk gekeken naar het verkeer richting Antwerpen. Er zijn verkeersdata beschikbaar voor 1998 en er is een prognose gemaakt voor 2020. Deze prognose is gebaseerd op het rapport van Policy Research Corporation [4.1], zie ook hoofdstuk 9. De grootste schepen op het traject naar Antwerpen in 1998 en in 2020 worden in onderstaand overzicht gegeven.

	dwt [ton]	Lengte [m]	Aantallen	
			1998 [-]	2020 [-]
Tanker	155.000	280	17	34
Bulkcarrier	150.000	280	81	162
Containerschip	110.000 +	347/380	2	49
Containerschip	90.000	320	7	612
Totaal:			107	857

Tabel 4.2 Overzicht van de grootste schepen op het traject Hansweert - Antwerpen

Er is één klasse van schepen in de bovenstaande tabel waar een groei van de scheepsafmetingen wordt verwacht. Dit is de klasse van 110,000 dwt containerschepen. Voor 1998 was het 110,000 dwt het grootste schip, in 2020 is het gemiddelde schip in deze klasse 135,000 dwt en het grootste schip 160,000 dwt. Dit laatste is een Suezmax conform onze verwachting in paragraaf 3.8. De afmetingen van deze schepen zijn:

Afmetingen		135,000 dwt	160,000 dwt
Loa	[m]	380	400
B	[m]	48.2	50
T	[m]	15.3	17
TEU	[-]	10,500	12000

Tabel 4.3 Afmetingen van de grootste containerschepen in 2020

Bij een bezoek aan Antwerpen of Vlissingen zullen deze schepen of gedeeltelijk geladen en/of tijgebonden zijn.

Niet alleen de toename in afmetingen van de containerschepen is spectaculair, ook de toename van het verkeer in deze grootte maat (280 – 300 meter) is hoog, in het jaar 2020 een factor acht ten opzichte van 1998. Het grootste deel van deze groei komt voor rekening van de containerschepen. Dit betekent in 2020 iedere dag twee tot drie schepen in opvaart en een zelfde aantal in de afvaart. In 1998 waren dit er één per drie dagen in opvaart en één per drie dagen in afvaart.

Voor een klasse kleinere schepen (orde 250 meter lang en 40 meter breed) is het aantal schepen:

	dwt [ton]	Lengte [m]	Aantallen	
			1998 [-]	2020 [-]
Tanker	90.000	235	99	168
Bulkcarrier	85.000	231	137	233
Containerschip	50.000	260	990	2178
Totaal:			1226	2579

Tabel 4.4 Overzicht van schepen rond de 250 meter lengte op het traject Hansweert-Antwerpen

Ook in deze categorie is de groei hoog (een verdubbeling) en ook hier komt een groot deel van de toename voor rekening van de containervvaart.

Het totaal van grote schepen (tussen de 230 en 350 meter lengte) groeit van 1333 schepen per jaar in 1998 tot 3436 schepen per jaar in 2020. Vertaald in op- en afvaarten zijn dit in 1998 bijna vier op- en afvaarten per dag en in 2020 bijna tien op- en afvaarten.

Dit is een forse toename van het verkeer. Als gevolg hiervan zal de infrastructuur veel zwaarder belast worden dan nu.

4.3 Een vergelijking van de toegankelijkheid en de wereldvloot

In 4.2 wordt aangenomen dat bepaalde scheepsklassen in de toekomst het Schelde-estuarium zullen bezoeken. Voor de marktpositie van de havens in deze regio is het van belang om na te gaan hoe de beperkingen in afmetingen zich verhouden tot de totale wereld-vloot. In zijn algemeenheid kunnen beperkingen voortvloeien uit scheepsafmetingen en diepgang versus waterdiepte en vormgeving van de vaarweg, met name de bochtstraal. In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van het percentage van de wereldvloot dat het Schelde-estuarium kan bezoeken.

	1998 [%]	2010 [%]
Bulkcarrier		
dwt < 175,000 dwt	98.1	98.5
diepgang < 16.2 m	90.7	88.9
Tanker		
dwt < 175,000 dwt	82.4	83.2
diepgang < 16.2 m	72.6	73.3
Container schepen		
diepgang < 14.0 m	99.2	97.7

Tabel 4.5 *Het percentage van de wereldvloot dat het Schelde-estuarium kan bezoeken*

De grootste bulkcarriers die men verwacht in 2020 vallen in de klasse tussen de 110,000 en 184,000 dwt met een gemiddelde van 150,000 ton deadweight. Uit tabel 4.5 kan men concluderen dat ongeveer 98% van de wereldvloot van bulkcarriers kleiner is dan deze maat. Als de maximale diepgang overeenkomt met 16.2 m, dan kan ongeveer 90% van de bulkschepen volbeladen het Schelde-estuarium bereiken.

Voor de tankers geldt dat ongeveer 83% kleiner is dan de maximaal toegelaten maat en ongeveer 73% kleiner is dan de maximaal toegelaten diepgang.

In 1998 hadden bijna alle containerschepen een diepgang kleiner dan 14 meter. In 2020 zullen er wat meer containerschepen zijn met een grotere diepgang dan 14 meter. Op basis van de huidige geulafmetingen is het de verwachting dat in 2020 praktisch alle containerschepen het Schelde-estuarium kunnen bezoeken. Van alle containerschepen zal ongeveer 3% alleen getijgebonden of gedeeltelijk beladen het Schelde-estuarium kunnen bezoeken. Als er tot 2020 extra verdiept wordt zal dit percentage afnemen.

Ten aanzien van de toegankelijkheid voor deze schepen gelden de opmerkingen zoals gemaakt in hoofdstuk 5.

5 HUIDIGE GEULAFMETINGEN EN NIEUWE BENODIGDE GEULAFMETINGEN

5.1 Inleiding

Eén van de doelstellingen van dit onderzoek is na te gaan wat de toekomstige benodigde geulafmetingen zijn in het Schelde-estuarium. Deze geulafmetingen zijn afhankelijk van de karakteristieken van de schepen die in de toekomst de geul zullen gebruiken en van de omgevingscondities. Om een soort doorkijkje te kunnen maken naar de toekomst dient er een dimensioneringsmethode te worden toegepast waarmee snel de benodigde geulbreedtes kunnen worden bepaald. In een meer gedetailleerde studie zou men de dimensionering kunnen uitvoeren met behulp van fast-time of real-time manoeuvreer simulaties. Een fast-time simulatie model is een rekenmodel waarmee de baan van het schip kan worden berekend onder diverse externe omstandigheden. Alle omstandigheden worden gemodelleerd, zoals golven, wind, stroom en de lay-out van het kanaal of de haven. Ook het manoeuvreergedrag van het schip wordt gemodelleerd. Vervolgens kan er een simulatie worden uitgevoerd waarbij het schip wordt gestuurd door een baanvolgende automaat. Een real-time simulator bevat hetzelfde rekenmodel, maar nu wordt het schip gestuurd door een mens. Deze heeft de beschikking over dezelfde instrumenten als in werkelijkheid. Naast instrumenten kan hij naar buiten kijken waar het beeld wordt geprojecteerd dat zichtbaar is vanaf de brug.

In deze studie beperken wij ons tot eenvoudige geuldimensioneringsmethoden. Er worden er twee gebruikt, één volgens PIANC [5.1] en één volgens onze 'in huis' methode, MSCN-methode.

Voordat deze methoden aan bod komen wordt er eerst een karakterisering gegeven van de geul en de bijbehorende omgevingscondities.

5.2 Geulindeling en maatgevende condities

Er is een indeling van de geul gemaakt op basis van ontvangen informatie (breedte, diepte). Voor het Nederlandse deel is de geul verdeeld in de geulvakken zoals ook aangegeven op kaart ZLNW 1996-1075. Daarnaast is ook gebruik gemaakt van kaart ZLNW 1994-1023. Het Belgische deel is ingedeeld volgens de informatie ontvangen van Rijkswaterstaat, Directie Zeeland (fax 30 maart 2000) en van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, afdeling Maritieme Schelde (kenmerk 15478, datum 10 maart 2000). De geulindeling wordt weergegeven in tabel 5.1. De naamgeving in deze tabel is gebaseerd op de informatie uit de fax van 30 maart 2000. In dit onderzoek beperken wij ons tot het deel van zee (Geul 1 West), tot aan de Berendrechtluizen. In deze tabel zijn ook de bochten aangegeven met de opgemeten bochtstraal en de verandering van de koershoek. Een bocht wordt gezien als een bocht als de koershoekverandering groter is dan 25 graden en in één roermanoeuvre genomen moet worden.

Globaal kan men de geul indelen in de toegangsgeul, zeetraject, deze loopt van geul 1 tot en met de Songa boei. Vervolgens de drempel van Vlissingen en de bocht Honte/ingang Sloehaven (Geulvak 12) en de binnengeul (Riviertraject) vanaf geulvak 11 tot en met de Zandvliet. In dit onderzoek wordt er gewerkt met twee delen, de drempel bij Vlissingen en de bocht Honte worden afgehandeld als onderdeel van de toegangsgeul (zeetraject).

Een overzicht van het Schelde-estuarium wordt gegeven in Appendix E.

Voor het bepalen van de geuldimensies worden voor ieder geuldeel de karakteristieke omgevingscondities bepaald. Voor de stroom is hiervoor de stroomatlas gebruikt en voor de wind het windklimaat in Nederland [5.2]. Voor iedere fase in het getij is de maximale dwars- en bijbehorende langsstroom bepaald. Deze zijn vervolgens omgewerkt naar de significante stroomsnelheden om er zo de locale maxima (in tijd en plaats) enigszins uit te filteren. Deze significante stroomsnelheden zijn gebruikt voor de beoordeling van de stroom gedurende verschillende passages (getijongebonden, getijgebonden invaart en getijgebonden uitvaart). Voor de maatgevende wind is uitgegaan van de windsnelheid dwars op de geul met één promiel overschrijdingskans, dit komt overeen met een overschrijdingskans van ongeveer 9 uur per jaar. In tabel 5.2 wordt een overzicht gegeven van de windsnelheden met een procent en één promiel overschrijdingskans als functie van de windrichting.

Vervolgens zijn stroom en wind gekarakteriseerd als gematigd of heftig. Hierbij zijn de onderstaande grenzen gehanteerd.

	Stroom		Wind
	Dwarsstroom [m/s]	Langsstroom [m/s]	Dwars [m/s]
Laag	0.25	0.75	7.7
Gematigd	0.75	1.54	15.5
Sterk	>0.75	>1.54	>15.5

Tabel 5.3 **Karakterisering van stroom en wind**

Een karakterisering van het getij voor ieder geuldeel tijdens getij onafhankelijke vaart wordt gegeven in tabel 5.4. Een karakterisering van de wind in tabel 5.5.

Er is nu gezocht naar een algemene conditie die voor een groot deel van de geul van toepassing is. Dit geeft de mogelijkheid om meer generieke uitspraken te doen over benodigde geulafmetingen. Uitgangspunt is dat in een detailanalyse nog eens aanbevelingen worden gedaan om lokaal andere afmetingen of afwijkende regelgeving toe te passen.

Voor het vervolg wordt uitgegaan van de volgende aannames:

- Buitengebied, maatgevend: matige stroom en matige wind
- Binnengebied, maatgevend: matige stroom en sterke dwarswind.

In dit rapport is er voor gekozen om voor een aantal maatgevende geuldelen de resultaten op te nemen in de tekst. Dit zijn de volgende delen:

- Toegangsgeul, representatief voor het zeetraject van geul 1 tot en met Vlissingen;
- Bocht Honte, de bocht in geulvak 12, voor Vlissingen;
- Binnengeul (Riviertraject): 500 meter breed, representatief voor de rechte delen tussen Vlissingen en Hansweert met uitzondering van de pas van Borsele;
- Binnengeul: 370 meter breed, representatief voor de rechte delen tussen Hansweert en Antwerpen;
- Binnengeul: 330 meter breed, representatief voor de pas bij Borsele;
- Binnengeul: 300 meter breed, dit wordt alleen opgenomen ter vergelijking met de bochten van 300 meter, een traject met deze breedte bestaat niet.
- Bocht binnengeul, 300 meter, representatief voor de bocht bij Walsoorden en de bocht bij Bath.

5.3 Keuze van de schepen

Dit onderzoek richt zich met name op schaalvergroting in de zeevaart en de toename van grote schepen in het Schelde-estuarium. Het is waarschijnlijk dat er onder de klassen van kleinere schepen ook lastige schepen zitten die veel ruimte gebruiken en daarom ook als gevaarlijk kunnen worden beschouwd. Een voorbeeld hiervan zijn autoboten of roro- schepen. Uitgangspunt van dit onderzoek is dat deze schepen nu ook binnen komen en er dus aan de geulafmetingen niets verandert hoeft te worden om deze schepen te ontvangen. In de praktijk kan dit echter, bij ontmoetingen met andere hele grote schepen, nog wel problemen geven. Er wordt vanuit gegaan dat dit een niet veel voorkomende situatie zal zijn.

In dit onderzoek wordt gekeken naar de volgende maatgevende scheepstypen:

- containerschepen;
- bulkcarriers;
- tankers.

In een deel van het onderzoek worden bulkcarriers en tankers gecombineerd tot één scheepstype.

Hierbij worden afmetingen gekozen die overeenkomen met de schepen die in de toekomst worden verwacht. De basis zijn de gegevens in tabel 4.1, waarbij ervan uit wordt gegaan dat:

- de bulkcarriers en tankers geladen zijn tot een diepgang van maximaal 16.2 meter;
- de containerschepen maximaal zijn afgeladen op een diepgang van 14 meter.

Daarnaast gaan we ervan uit dat er voldaan wordt aan de geldende netto kielspelingsseisen. Dit zijn:

- zeetraject: 15%;
- Riviertraject: 12,5%;
- Riviertraject, laatste deel 10%.

5.3 PIANC

Als eerste stap in de dimensionering zijn berekeningen uitgevoerd volgens de PIANC-methode. Deze methode wordt beschreven in [5.1]. De vaarweg dimensionering is afhankelijk van de karakterisering van de geul en van het schip. Voor de dimensionering van het Schelde-estuarium is gebruik gemaakt van de volgende karakterisering:

- één- of tweestrooks geul;
- betoning en bebakening: matig voor de toegangsgedul en goed voor het binnengebied;
- bodem: zacht, en zanderig (geen rots);
- oever en/of taluds: glooiend en zacht en zanderig;
- golfhoogte: laag
- waterdiepte diepgangverhouding: het minimum wat is vereist;
- lading type: ongevaarlijk voor bulkschepen en containerschepen en matig gevaarlijk voor tankers;

Hierbij dient te worden opgemerkt dat het deel van de geul dat wordt gedeeld met Zeebrugge (Geul 1 west tot Scheur oost 1) gebruikt wordt door grote gasschepen (lengte 270 meter). Deze schepen zijn gevaarlijk en in de afhandeling dient men hiermee rekening te houden.

De volgende variaties zijn toegepast:

- matige dwarsstroom;
- sterke dwarsstroom;
- matige wind;
- sterke wind.

Voor de volgende schepen:

- een containerschip met matige manoeuvreercharacteristieken;
- een bulkcarrier met slechte manoeuvreereigenschappen;
- een tanker met slechte manoeuvreereigenschappen.

PIANC geeft in de publicatie een toeslag voor het dimensioneren van bochten. Deze toeslag is gebaseerd op de geometrie van het bochtvaren. Hierbij wordt immers onder een extra drifthoek gevaren. In het vervolg presenteren wij de resultaten voor rechte geulsegmenten en geven apart de toeslag voor scherpe bochten en wat ruimere bochten.

Voor de rechte vaarwegdelen zijn de PIANC-regels geprogrammeerd. De resultaten van de berekeningen met het programma zijn opgenomen in Appendix B.

In de onderstaande tabel worden de resultaten gepresenteerd voor het containerschip.

Conditie	Zeetraject		Riviertraject	
	Enkel Strooks	Dubbel Strooks	Enkel Strooks	Dubbel Strooks
Matige dwarsstroom Matige dwarswind	4.5	10.1	3.9	8.6
Sterke dwarsstroom Matige dwarswind	4.8	10.7	4.2	9
Matige dwarsstroom Sterke dwarswind	4.9	10.9	4.3	9.4
Sterke dwarsstroom Sterke dwarswind	-	-	4.5	9.8
Toeslag voor bochten				
$R > 1780$	0.1			
$R < 1780$	0.15			

Tabel 5.6 **Resultaten van de PIANC-methode uitgedrukt in aantallen scheepsbreedtes voor het containerschip**

In de buitengeul (zeetraject) zijn de condities, stroom en wind, altijd gematigd. Daarbij is de buitengeul 500 meter breed. Dit betekent dat voor de buitengeul het grootste schip 49,5 meter breed mag zijn (tweestrooks).

Voor de binnengeul (riviertraject) is maatgevend een bocht van 300 meter (matige dwarsstroom en sterke dwarswind) en een straal kleiner dan 1.780 meter. De benodigde geulbreedte in deze bocht is 4.45 keer de scheepsbreedte voor een enkelstrookssituatie en 9.7 keer de scheepsbreedte voor een dubbelstrooks situatie. Deze bocht is bevaarbaar voor een containerschip van maximaal 30,9 meter breed (tweestrooks situatie).

Voor een tanker worden de rekenresultaten weergegeven in de onderstaande tabel:

Conditie	Zeetraject		Riviertraject	
	Enkel Strooks	Dubbel Strooks	Enkel Strooks	Dubbel Strooks
Matige dwarsstroom Matige dwarswind	5.3	11.7	4.6	10.0
Sterke dwarsstroom Matige dwarswind	5.6	12.3	4.9	10.6
Matige dwarsstroom Sterke dwarswind	5.7	12.5	5.0	10.8
Sterke dwarsstroom Sterke dwarswind	-	-	5.3	11.4
Toeslag voor bochten				
R > 1773	0.1			
R < 1773	0.2			

Tabel 5.7 **Resultaten van de PIANC-methode uitgedrukt in aantallen scheepsbreedtes voor de tanker**

Een belangrijk verschil met het containerschip is een andere waardering van de manoeuvreerbaarheid (0.8B in plaats van 0.5B) en een toeslag voor matig gevaarlijke lading, 0.4B

Voor de tanker geldt in de toegangsgeul een maximale scheepsbreedte van 42,7 meter (tweestrooks). In het binnengebied voor een scherpe bocht met matige dwarsstroom en sterke dwarswind geldt een maximum scheepsbreedte van 57,7 meter enkelstrooks (5.2B) en 25,4 meter dubbelstrooks (11.2B).

Conditie	Zeetraject		Riviertraject	
	Enkel Strooks	Dubbel Strooks	Enkel Strooks	Dubbel Strooks
Matige dwarsstroom Matige dwarswind	4.8	10.7	4.2	9.2
Sterke dwarsstroom Matige dwarswind	5.1	11.3	4.5	9.8
Matige dwarsstroom Sterke dwarswind	5.2	11.5	4.6	10.0
Sterke dwarsstroom Sterke dwarswind	-	-	4.9	10.6
Toeslag voor bochten				
R > 1773	0.1			
R < 1773	0.2			

Tabel 5.8 **Resultaten van de PIANC-methode uitgedrukt in aantallen scheepsbreedtes voor de bulkcarrier**

Een belangrijk verschil tussen de tanker en de bulkcarrier is het ontbreken van een toeslag voor gevaarlijke lading.

Voor de bulkcarrier geldt in de toegangsgeul een maximale scheepsbreedte van 46,7 meter (tweestrooks). In het binnengebied voor een scherpe bocht met matige dwarsstroom en sterke dwarswind geldt een maximum scheepsbreedte van 62,5 meter enkelstrooks en 30,0 meter dubbelstrooks.

In onderstaand overzicht worden de resultaten van de PIANC-methode kort samengevat, uitgedrukt in maximale scheepsbreedte voor verschillende geulsegmenten voor maatgevende condities.

Geuldeel	Breedte	Containerschip		Tanker		Bulkcarrier	
		Enkel	Dubbel	Enkel	Dubbel	Enkel	Dubbel
Zeetraject	500	111.1	49.5	94.3	42.7	104.2	46.7
Bocht Honte	520	113.0	50.5	96.3	43.7	106.1	47.7
Riviertraject	500	116.3	53.2	100.0	46.3	108.7	50.0
	370	86.0	39.4	74.0	34.3	80.4	37.0
	300	69.8	31.9	60.0	27.8	65.2	30.0
Scherpe bocht Riviertraject	300	67.4	30.9	57.7	26.8	62.5	28.8

Tabel 5.9 *Maximale scheepsbreedte in de verschillende geulsegmenten*

Conclusie:

Als de methode van PIANC wordt gevolgd dan is het Schelde-estuarium geschikt voor containerschepen met een breedte van 50 meter. Op alle rechte geuldelen die breder zijn dan 470 meter kan tweestrooks worden gevaren. Bochten en geuldelen die smaller zijn, zijn alleen geschikt voor enkelstrooks verkeer.

5.4 MSCN-methodiek

De MSCN-methodiek gaat uit een aantal dominante bijdragen aan de padbreedte van schepen. Deze bijdragen kunnen worden onderverdeeld in:

- opstuurhoek ten gevolge van stroom;
- opstuurhoek ten gevolge van wind;
- scheepsbewegingen in golven;
- nauwkeurigheid van de betonning;
- nauwkeurigheid van de positieschatting;
- afstand tot de rand van de geul
- toeslag voor bochten;
- scheepseigenschappen;
- verkeerssituatie.

Opstuurhoek ten gevolge van stroom

Voor de kwalificatie van de stroom wordt de methode gevolgd die ook voor PIANC is gebruikt, zie ook tabel 5.3. Het effect van de stroom op de padbreedte van het schip is afhankelijk van de vaarsnelheid van het schip en de scheepslengte. In onderstaande tabel wordt voor verschillende combinaties van stroomsnelheid en vaarsnelheid de opstuurhoek gegeven.

Dwarsstroom	Stroomsnelheid		Vaarsnelheid [kn]			
	[m/s]	[kn]	10.5	11.5	12.5	13.5
Laag	<0.25	0.5	2.73	2.49	2.29	2.12
Gematigd	0.25 - 0.75	1.5	8.13	7.43	6.84	6.34
Sterk	0.75 - 1.0	2	10.78	9.87	9.09	8.43

Tabel 5.10 Opstuurhoeken in graden, als functie van de stroomsnelheid en de vaarsnelheid

Om een idee te geven van het effect van de opstuurhoek, het verschil in padbreedte van een 300 meter lang schip, tussen 8,13 en 6,34 graden is 9,3 meter.

Opstuurhoek in wind

Om de opstuurhoek in wind te bepalen zijn een aantal sommen met het fast-time simulatiemodel SHIPMA uitgevoerd. Deze berekeningen zijn uitgevoerd voor een waterdiepte-diepgangverhouding (h/T) van 1,2 en een vaarsnelheid van 10 knopen. Dit resulteert in de volgende opstuurhoeken:

Dwarswind		Containerschip	Bulkcarrier
Gematigd	<16.5m/s	0.8	0.2
Sterk	16.5 - 18.5 m/s	1.2	0.3

Tabel 5.11 Opstuurhoek in graden als functie van dwarswind

Scheepsbewegingen in golven

Het is de verwachting dat de eerste orde scheepsbewegingen een klein aandeel heeft in de benodigde geulbreedte. De volgende toeslagen worden gegeven:

Gieren: 1 graad (representatief voor 2 meter golven);
Verzetten: 3,2 meter (representatief voor 2 meter golven).

Bovenstaande toeslagen worden alleen gehanteerd in het zeetraject.

Nauwkeurigheid betonning en elektronische navigatiehulpmiddelen

De positienauwkeurigheid van boeien is beperkt doordat ze zijn afgemeerd met behulp van een anker. Als vuistregel geldt dat de straal van de positienauwkeurigheid overeenkomt met 1,7 keer de waterdiepte. Aangenomen wordt dat het effect van de stroom aan beide zijden van de geul gelijk is, daarom hoeft deze foutmarge maar één keer te worden meegenomen in de dimensionering.

Andere betonning en bebakening zoals lichtopstanden op de wal, lichtenlijnen en sectorlichten hebben een veel hogere nauwkeurigheid. Met deze verbetering van de nauwkeurigheid is verder geen rekening gehouden, omdat de aanwezigheid sterk varieert langs de geul.

Als alternatief wordt als optie het varen met een elektronisch navigatiehulpmiddel meegenomen in dit onderzoek. De positienauwkeurigheid van zo'n systeem, mits goed geïnstalleerd, is in de orde van meters. In dit onderzoek gaan wij uit van 5 meter.

Positieschatting

Uit de informatie die de loods krijgt aangereikt (visueel, radar) maakt hij een schatting van de positie van het schip. Op grond van deze schatting neemt hij actie. De nauwkeurigheid die bereikt kan worden met de hulpmiddelen aan boord zal afhangen van de inspanning van de loods, en deze zal weer afhangen van de noodzaak om een nauwkeurige positie schatting te maken.

In de toegangsgeul (geul 1 tot en met Vlissingen) zijn beperkte middelen voorhanden om de positie te schatten. De boeien liggen ver uit elkaar en er zijn relatief weinig andere objecten om de positie op te bepalen. Er is over dit onderwerp relatief weinig literatuur, bovendien kan men aannemen dat de positieschatting sterk plaats-afhankelijk is. De hier aangenomen getallen zijn geschat op basis van ervaring. In het geval van een enkelstrooks situatie wordt ervan uitgegaan dat de positieschatting een nauwkeurigheid heeft van 12% van de geulbreedte. Verder wordt ervan uitgegaan dat de positieschatting tijdens ontmoeten voor beide schepen samen gelijk is aan de positieschatting voor één individueel schip.

In het riviertraject liggen relatief veel boeien in poortjes. Verder zijn er de nodige objecten en hulpmiddelen op het land die gebruikt kunnen worden om de positie te bepalen. Voor boeien in poortjes waarvan er minimaal twee te zien zijn, is de positienauwkeurigheid 7.2% van de geulbreedte, zie ook [5.3]. Dit wordt verder aangehouden voor het binnengebied.

Als er elektronische navigatiehulpmiddelen worden ingezet dan wordt de positienauwkeurigheid afhankelijk van de tijd tussen twee waarnemingen. In het optimale geval wordt de positieschatting nauwkeurig op 10 meter. Dit is een redelijk pessimistische schatting, waarbij ervan uitgegaan wordt dat er niet vaak op het systeem wordt gekeken.

Deze fout ontstaat doordat niet continue waarnemen wordt gecombineerd met de fout in het systeem zelf, zoals boven aangegeven.

Afstand tot de rand van de geul

Bij het varen in de geul dient er enige afstand tot de geulrand te worden gehouden, om eventuele zuiging te voorkomen. In de toegangsgeul speelt dit niet omdat de geul een relatief kleine verdieping is ten opzichte van de omgeving. Om deze reden wordt er slechts een kleine marge tot de geulrand aangehouden van 20% van de scheepsbreedte aan ieder kant van de geul. In de binnengeul is het buiten de geul minder diep maar meestal dieper dan de helft van de diepgang. Het gevaar voor oeverzuiging is hierdoor niet groot. In het binnengebied wordt daarom een marge gehanteerd van 50% van de scheepsbreedte aan iedere kant van de geul.

Toeslag voor het varen van bochten

Een bocht varen is aanzienlijk lastiger dan in een rechte vaarweg varen. Bij het inzetten van de bocht is het onzeker hoe het schip uit de bocht zal komen. Dit is afhankelijk van de draaisnelheid die bereikt wordt en eventuele verstoringen onder weg. Ook het positie schatten tijdens het varen van een bocht is lastig om dat er nooit een stabiele situatie wordt bereikt. Het bochtvaren gaat beter als er een rate of turn meter aan boord is en ook gebruikt wordt door de loads. Deze is niet op alle schepen beschikbaar maar wordt wel steeds vaker geïnstalleerd op nieuwere schepen. Ook elektronische hulpmiddelen kunnen het bochtvaren makkelijker maken.

In dit onderzoek is het uitgangspunt dat de positieschatting en nauwkeurigheid van betonning en bebakening in de bocht niet veranderen. Verder wordt ervan uitgegaan dat bij een koersverandering van 45 graden een positiefout van één scheepsbreedte ontstaat. Met andere woorden als een schip een bocht maakt, dan zal het na een koersverandering van 45 graden maximaal een halve scheepsbreedte naast de baan zitten, aan bakboord of aan stuurboord. Bij het toepassen van deze regel wordt echter wel rekening gehouden met de definitie van een bocht, zie paragraaf 5.2. Dit betekent dat een bocht met een koersverandering van maximaal 25 graden zonder een noemenswaardige positiefout wordt gevaren en dat bovengenoemde positiefout pas optreedt bij een bocht met een koersverandering van 70 graden. Echter, deze fout is gemaximaliseerd op twee scheepsbreedtes, een scheepsbreedte aan weerszijde van de

baan. De argumentatie hiervoor is dat een afwijking van een scheepsbreedte (orde 50 meter) duidelijk waarneembaar is en er dus actie wordt ondernomen om het schip bij te sturen. In het Schelde-estuarium is er bij de grote schepen altijd een loods aan boord. Deze loods zal er alles aan doen om de positiefout zo klein mogelijk te houden, vooral in situaties met tweestrooks verkeer.

Bij de inzet van elektronische navigatiehulpmiddelen zal deze fout ongeveer halveren.

Tijdens het bochtvaren vaart het schip permanent onder een kleine opstuurhoek. De bijdrage aan de benodigde breedte kan worden benaderd met de formule: $0.212 \cdot L^2 / R$, waarbij L de lengte van het schip is en R de bochtstraal.

Er is hier alleen gesproken over extra breedte in de bocht. Er is niets gezegd over de benodigde inspanning om de bocht te kunnen varen. Criterium voor het veilig varen van de bocht is de benodigde roerhoek. Deze dient onder de 20 graden te blijven om ervoor te zorgen dat het schip nog kan corrigeren tijdens het bochtvaren. Voor een bulkcarrier of tanker (lengte 300 meter, keel clearance 20%) worden de volgende waarden gevonden:

- bochtstraal: 1300 meter, gemiddelde roerhoek 17 graden, maximum 27 graden;
- bochtstraal: 2600 meter, gemiddelde roerhoek 9 graden, maximum 13 graden.

Voor het containerschip vinden we:

- bochtstraal: 1300 meter, gemiddelde roerhoek 9 graden, maximum 14 graden;
- bochtstraal: 2600 meter, gemiddelde roerhoek 4 graden, maximum 7 graden.

Voor de bulkcarrier/tanker kan worden geconstateerd dat het schip vrijwel op de maximaal acceptabele roerhoek zit. Een groter schip zal hier dus overheen gaan waardoor een onacceptabele situatie ontstaat.

Het containerschip heeft relatief veel marge.

Scheepseigenschappen

In het bovenstaande wordt iets gezegd over de manoeuvreereigenschappen tijdens het bochtvaren. In zijn algemeenheid zijn er verschillen in manoeuvreerbaarheid tussen de verschillende scheepstypen. Het containerschip is goed manoeuvreerbaar en heeft een hoge vaarsnelheid, zowel zeespeed (25 knoop) en manoeuvreerspeed (20 knoop). Hierdoor heeft het schip altijd vermogen over om onverwachte situaties op te vangen. Om deze reden hanteren we ook een vrij kleine manoeuvreertoeslag van 30% van de scheepsbreedte.

Bulkcarriers en tankers hebben vaak een veel lagere vaarsnelheid, orde 14 knoop bij zeespeed. Manoeuvreerspeed zal hierdoor rond de 12 knoop liggen. De mogelijkheden om onverwachte situaties op te vangen zijn hierdoor beperkt. Om deze reden wordt voor deze schepen een vrij grote manoeuvreertoeslag van één scheepsbreedte gehanteerd.

Verkeersituatie

In het geval van een twee-schip-situatie wordt altijd een toeslag van twee keer de gemiddelde scheepsbreedte als tussenruimte voor de ontmoetende schepen aangehouden.

Voor de overige toeslagen wordt het volgende aangenomen:

- Opstuurhoeken: deze worden voor beide schepen meegeteld, hierbij wordt geen rekening gehouden met het feit dat een van de twee schepen stroom en/of wind tegen zal hebben waardoor er iets meer vermogen gebruikt kan worden en het schip beter manoeuvreerbaar is en minder ruimte gebruikt
- Scheepsbewegingen in golven worden voor beide schepen meegenomen (alleen in het zeetraject);
- Nauwkeurigheid betonning en/of elektronische navigatiehulpmiddelen: dit is voor beide schepen gelijk en wordt maar een keer meegenomen in een twee-schip-situatie;
- Positieschatting: ook deze fout is voor beide schepen gelijk en wordt slechts een keer meegenomen in de berekening;
- Afstand tot de rand van de geul: dit wordt voor ieder schip aan een kant meegenomen;
- Toeslag voor het varen van bochten: aangenomen wordt dat schepen op elkaar anticiperen en dat hierdoor de gezamenlijke fout gelijk blijft aan de fout voor één schip.

Resultaten

Uit het voorgaande volgt dat, anders dan in PIANC, de benodigde geulbreedte afhangt van scheepslengte, breedte, geulbreedte en waterdiepte. In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de resultaten.

Geuldeel	Breedte	Containerschip		Containerschip		Containerschip		Bulkcarrier	
		L = 320 B = 42.50 6500 TEU		L = 360 B = 45.50 9000 TEU		L = 400 B = 50.00 12000 TEU		L = 300 B = 45 150,000 dwt	
		Enkel	Dubbel	Enkel	Dubbel	Enkel	Dubbel	Enkel	Dubbel
Zeetraject	500	209	400	220	427	234	462	242	470
Bocht Honte	520	283	480	301	516	323	561	319	553
Riviertraject (recht)	500	196	381	208	409	224	445	232	456
	370	186	371	199	399	215	436	222	446
	300	181	366	194	394	210	430	217	441
Bochten Riviertraject									
Walsoorden	300	234	427	252	463	275	509	272	503
Nauw van Bath	300	283	484	306	527	336	583	322	561

Tabel 5.12 Resultaten van de MSCN-methode voor een viertal schepen

In bovenstaande tabel zijn de resultaten die niet voldoen aan de beschikbare geulbreedte grijs gemaakt, hierbij is een marge gehanteerd van 10 meter. Er is een scheiding gemaakt tussen zeetraject, het riviertraject en de bochten in het riviertraject. Onder de rechte delen van het riviertraject staat ook een deel van 300 meter. Er bestaat geen recht deel met deze breedte, dit is alleen opgenomen ter vergelijking met de bochten van deze breedte.

Het volgende valt op:

- Zeetraject: tweestrooks verkeer, voor het grootste containerschip marginaal, voor de overige schepen is het geen probleem;
- Scherpe bochten in het zeetraject, alleen een probleem voor de allergrootste schepen in een twee strooksituatie;
- Riviertraject, 500 meter voldoende breed voor dubbelstrooks verkeer;
- De overige delen van het riviertraject (370 meter breed) zijn voldoende breed voor twee strooks verkeer behoudens voor de allergrootste schepen;
- De scherpe bochten (Hansweert en Bath), zijn te smal voor dubbelstrooks verkeer en voor de allergrootste schepen ook te smal voor enkelvoudige passage.

Met de inzet van elektronische navigatiehulpmiddelen wordt het resultaat als volgt:

Geuldeel	Breedte	Containerschip		Containerschip		Containerschip		Bulkcarrier	
		L = 320 B = 42.50 6500 TEU		L = 360 B = 45.50 9000 TEU		L = 400 B = 50.00 12000 TEU		L = 300 B = 45 150,000 dwt	
		Enkel	Dubbel	Enkel	Dubbel	Enkel	Dubbel	Enkel	Dubbel
ZeeTraject	500	138	330	149	357	163	391	171	399
Bocht Honte	520	178	376	194	409	213	450	213	446
Riviertraject (recht)	500	158	343	170	371	186	407	194	418
	370	158	343	170	371	186	407	194	418
	300	158	343	170	371	186	407	194	418
Bochten Riviertraject									
Walsoorden	300	188	381	204	415	225	459	225	456
Nauw van Bath	300	217	418	237	458	262	509	253	492

Tabel 5.13 Resultaten van de MSCN-methode, minimaal benodigde geulbreedte in meters voor een viertal schepen, met gebruik van elektronische navigatie hulpmiddelen

Geconcludeerd kan worden dat:

- Alle scherpe bochten (Walsoorden en Bath) worden enkelstrooks;
- De rechte geuldelen van 300 en 330 zijn ook enkelstrooks (300 meter bestaat niet alleen 330 meter, de 300 meter is opgenomen ter vergelijking met de bochten);
- De rechte delen van 370 meter breed zijn dubbelstrooks, alleen voor het grootste containerschip en bulkcarrier worden ze als enkelstrooks beschouwd;
- Alle geuldelen van 500 of 520 meter inclusief de bocht bij de Honte zijn dubbelstrooks.

6 VERBREIDING EN/OF NAVIGATIE ONDERSTEUNENDE MAATREGELEN

6.1 Inleiding

In hoofdstuk 5 zijn een aantal berekeningen uitgevoerd naar de benodigde geulafmetingen. Uit deze berekeningen kunnen een aantal conclusies worden getrokken. Dit zijn:

- De rechte geuldelen met een breedte van 500 meter zijn niet kritisch;
- De geuldelen met een breedte van 300 of 330 meter zijn absoluut te smal om tweestrooks verkeer toe te laten. Wil men dit wel doen dan dient er gebaggerd te worden. Deze breedtes komen relatief weinig voor, de Pas van Borsele is 330 meter breed en een aantal bochten zijn 300 meter breed, zie beneden.
- Voor de drie grootste scheepsklassen zijn de rechte delen met een breedte van 370 meter te smal voor tweestrooks verkeer. Dit kan voor een deel van het verkeer wel worden toegestaan als de loods beschikt over een elektronisch navigatiehulpmiddel.
- De bocht bij Bath (300 meter breed) is te smal voor de allergrootste schepen. Dit kan ook worden verbeterd door een elektronisch navigatiehulpmiddel in te voeren. De bochten bij Walsoorden en Bath zijn altijd te smal voor tweestrooksverkeer.

Bovenstaande conclusies hebben vooral consequenties voor de route Hansweert-Antwerpen. De volgende vragen doen zich nu voor.

1. Wat is de consequentie als er niets wordt gedaan. Met andere woorden het toelatingsbeleid zoals onder 4 afgeleid, wordt gehandhaafd en ontmoetingen van bepaalde grote schepen worden niet toegestaan tussen Hansweert en Antwerpen.
2. Wat is de consequentie als met elektronische navigatiehulpmiddelen de positie informatie aan boord van de schepen sterk verbeterd, eventueel aangevuld met een strakke begeleiding van de wal.
3. Waar heeft het het meeste nut om te baggeren, verbreden, als men dat wil. Mogelijk in combinatie met 1 of 2.

Voor het antwoord op deze vragen is gekeken naar de verkeersintensiteit tussen Antwerpen en Hansweert en met name naar kritische ontmoetingen. Uitgangspunt is dat de geuldelen met een breedte van 370 meter kritisch zijn. Als schepen elkaar in die delen kunnen ontmoeten, maar niet in de bochten, dan wordt de stremming acceptabel.

Uit de verkeersgegevens zoals die voor de ongevalstudie zijn gebruikt is een overzicht gemaakt van representatieve scheepsafmetingen en aantallen passages per scheepstype voor de vier grootste klassen. Dit overzicht wordt gegeven in tabel 4.1.

Uit dit overzicht zijn de vijf grootste scheepsklassen geselecteerd en er is een zesde klasse gedefinieerd die representatief wordt geacht voor de volgende klasse. In deze zesde klasse zitten verschillende scheepstypen. Aangezien hij minder kritisch is, wordt hij afgehandeld als bulkcarrier/tanker.

Voor de zes klassen is de benodigde breedte bepaald tijdens ontmoetingen volgens de drie berekeningsmethoden. Resultaten van deze berekening worden gepresenteerd in tabel 6.2. In deze tabel zijn de cellen grijs gemaakt die de 370 meter overschrijden. In deze cellen worden ook de verwachte scheepsaantallen voor 1998 en 2010 gepresenteerd. De PIANC en de MSCN-methode laten vrijwel dezelfde passages toe. Deze resultaten laten zien dat feitelijk alleen het kleinere containerschip redelijk ongehinderd kan passeren, dit is in beide jaren het schip dat het meeste voorkomt. Als een elektronisch navigatiehulpmiddel wordt toegepast dan verruimen de mogelijkheden aanzienlijk.

	1	2	3	4	5	6	Totaal
	Container	Container	Container	Bul/Tan	Bul/Tan	Bul/Tan	
Loa	380	320	260	280	235	220	2114 4764
B	48.2	42.5	32.2	45	38	35	
1998	2	7	990	98	236	781	
2020	49	612	2178	196	401	1328	
1	453	426	378	461	424	409	
2		400	351	434	397	382	
3			303	385	349	333	
4				468	432	416	
5					395	380	

Benodigde breedte tijdens een ontmoeting op basis van PIANC

	1	2	3	4	5	6	Totaal
	Container	Container	Container	Bul/Tan	Bul/Tan	Bul/Tan	
Loa	380	320	260	280	235	220	2114 4764
B	48.2	42.8	32.2	45	38	35	
1998	2	7	990	98	236	781	
2020	49	612	2178	196	401	1328	
1	420	395	358	430	399	386	
2		371	334	406	375	362	
3			297	368	337	325	
4				440	409	397	
5					378	366	

Benodigde breedte tijdens een ontmoeting op basis van MSCN-methode

	1	2	3	4	5	6	Totaal
	Container	Container	Container	Bul/Tan	Bul/Tan	Bul/Tan	
Loa	380	320	260	280	235	220	2114 4764
B	48.2	42.8	32.2	45	38	35	
1998	2	7	990	98	236	781	
2020	49	612	2178	196	401	1328	
1	391	367	330	402	371	358	
2		343	305	377	346	333	
3			268	340	309	296	
4				412	381	368	
5					350	337	

Benodigde breedte tijdens een ontmoeting op basis van MSCN-methode,
Met elektronisch hulpmiddel

Tabel 6.2 Benodigde breedte in meters tijdens ontmoetingen op rechte vaargeul delen van 370 meter breed

In bovenstaande tabel komen de verticale klassen overeen met de horizontale klassen. Ontmoetingen tussen klasse 6 schepen onderling zijn buiten beschouwing gelaten, deze zijn altijd mogelijk. Vervolgens is er een berekening gemaakt van het aantal ontmoetingen op het stuk Hansweert-Antwerpen voor 1998 en 2020. De resultaten van deze berekening worden gepresenteerd in de onderstaande tabel.

Klasse:			1	2	3	4	5	Totaal
		Loa	Container	Container	Container	Bul/Tan	Bul/Tan	
		B	380	320	260	280	235	
			48.2	42.8	32.2	45	38	
	Snelheid:	[m/s]	6.43	6.43	6.43	5.14	5.14	Totaal
Klasse	[m/s]	Aantal:	2	7	990	98	236	
1	6.43	2	0.0	0.0	0.5	0.1	0.1	2
2	6.43	7		0.0	1.9	0.2	0.5	5
3	6.43	990			270.7	30.2	72.6	476
4	5.14	98				3.3	16.0	19
5	5.14	236					19.2	19
Totaal:								522

Aantal ontmoetingen per jaar in 1998

Klasse:			1	2	3	4	5	Totaal
		Loa	Container	Container	Container	Bul/Tan	Bul/Tan	
		B	380	320	260	280	235	
			48.2	42.8	32.2	45	38	
	Snelheid:	[m/s]	6.43	6.43	6.43	5.14	5.14	Totaal
Klasse	[m/s]	Aantal:	49	612	2178	196	401	
1	6.43	49	0.7	8.3	29.5	3.0	6.1	94
2	6.43	612		103.4	368.1	37.3	76.3	1067
3	6.43	2178			1310.0	132.7	271.5	2118
4	5.14	196				13.3	27.2	68
5	5.14	401					55.6	56
Totaal:								3403

Aantal ontmoetingen per jaar in 2020

Tabel 6.3 **Geschat aantal ontmoetingen op het traject Hansweert-Antwerpen**

Voor deze berekening is klasse 6 (zie ook tabel 6.2) verder buiten beschouwing gelaten. Bij de introductie van een elektronisch navigatiehulpmiddel zal deze klasse geen vertraging ondervinden op de rechte geuldelen.

Vervolgens is er voor de twee scenario's het totaal aantal ontmoetingen berekend dat gehinderd wordt door te weinig beschikbare breedte. Wij gaan ervan uit dat als deze situatie zich voordoet, er gewacht moet worden. De resultaten van deze berekening, het aantal vertraagde schepen, worden gegeven in de onderstaande tabel.

		1998		2020	
		Passages 2666	Ontmoetingen 522	Passages 6872	Ontmoetingen 3403
Scenario		Vertraagd [-]	Percentage [%]	Vertraagd [-]	Percentage [%]
Zonder elektronisch hulpmiddel	PIANC	102	3.8	813	11.8
	MSCN	40	1.5	489	7.1
Met elektronisch hulpmiddel	MSCN	20	0.8	161	2.3

Passages: twee richtingen

Tabel 6.4 **Schatting van het aantal kritische ontmoetingen**

Opgemerkt dient te worden dat deze berekeningen gelden voor tijonafhankelijke vaart. In 1998 was een belangrijk deel van de hier beschouwde schepen tijgebonden waardoor het ontmoetingspunt in veel gevallen tussen Vlissingen en Hansweert lag, uitgaande van het vaarschema zoals bepaald door de Technische Scheldec commissie (studierapport STSC 6/84). Volgens de loodsen is dit niet waar en ontmoeten tijgebonden schepen elkaar ook tussen Hansweert en Antwerpen.

De consequentie van een vertraging is een wachttijd van gemiddeld een uur per schip (uitgaande van een maximale vaartijd van twee uur voor het traject Antwerpen-Hansweert). Eén van de twee schepen moet wachten totdat de ander het gebied verlaten heeft.

Geen vertraging wil niet zeggen dat er onderweg helemaal niet gewacht hoeft te worden. Het kan zijn dat er vertraagd moet worden omdat er anders een schip ontmoet wordt in een bocht.

Met een elektronisch navigatiehulpmiddel is de geschatte vertraging 161 uur. In hoeverre deze vertraging van 161 uur per jaar een probleem is, is lastig in te schatten. Mogelijk dat het aantal nog iets afneemt als aankomst en vertrek vooraf gepland worden en als er rekening wordt gehouden met mogelijk vaste vaarschema's.

Als er geen elektronische hulpmiddelen worden geïnstalleerd zijn er ook problemen met het bochtvaren. De grootste schepen kunnen hier niet veilig doorheen. Als deze middelen niet worden geïntroduceerd, dan dienen de bochten Walsoorden en Bath, verruimd te worden met orde 40 meter. Als er in zo'n scenario nog verder gebaggerd gaat worden dan zou men de rechte stukken moeten verbreden naar orde 400 meter. De verwachte stremming neemt dan af van 489 uur naar 70 uur.

Wil men in het scenario met elektronische navigatiehulpmiddelen nog baggeren dan zou men de geuldelen met een breedte van 370 meter met 25 meter kunnen verbreden naar 395 meter. De verwachte stremming wordt dan minder dan 20 uur per jaar.

7 DE CONSEQUENTIES VOOR DE BINNENVAART

Bij de beoordeling van de consequenties voor de binnenvaart spelen een aantal aspecten een rol.

1. Is er voldoende ruimte voor de binnenvaart;
2. Is de hydrodynamische interactie tussen de zeescheepvaart en de binnenvaart acceptabel.

Ruimtebeslag

Voor het minimale benodigde ruimtebeslag van de binnenvaart gaan we uit van CVB-regels voor dimensionering van vaarwegen [7.1]. De vaarbaanbreedte die men daar de binnenvaart geeft is 23 meter (klasse Vb, eenrichting). Met een toeslag voor dwarswind, golven en betonningssonauwkeurigheid is de benodigde breedte een strook in de orde van 73 meter. In de CVB-richtlijnen stelt men dat er 150 meter beschikbaar moet zijn voor tweestrooks verkeer. In bijna het hele Schelde-estuarium kunnen binnenschepen tussen de boeien varen over de rand van de geul, omdat er buiten de geul voldoende water staat. Hierdoor is de effectieve strook van de vaarweg die het schip in beslag neemt niet meer dan 40 meter. Als er met duwstellen gevaren gaat worden, dan nemen de afmetingen van deze strook toe, tengevolge van de extra breedte (11.4 meter) en de extra lengte. Een duwstel (2 of 4 baks) zal een strook van 60 meter opeisen.

Wordt vervolgens de berekende padbreedte beschouwd, dan volgt dat:

- Er in de rechte delen met een breedte van 300 meter voldoende ruimte is om door een groot zeeschip opgelopen te worden (mits er zich maar één groot zeeschip bevindt), of om een groot zeeschip te ontmoeten;
- Er in de bochten geen ruimte is voor de binnenscheepvaart in combinatie met een groot zeeschip.

In een recht 300 meter geuldeel is de 'domeinbreedte' van een zeeschip maximaal 220 meter. Als het schip in het midden vaart is dit 110 meter aan weerszijde van de geulas, waarbij er 40 meter tot de rand overblijft. Dit is in principe voldoende ruimte voor het binnenvaartschip. In het geval van een duwstel zal een van beide schepen iets moeten uitwijken. In rechte delen van 330 meter of meer is het oplopen of ontmoeten van een duwstel ook geen probleem.

In tabel 7.1 wordt een indicatie gegeven van de verkeersdichtheid in de verschillende delen van de vaargeul. In deze tabel staan de volgende getallen:

- aantal schepen per jaar, in één richting, voor 1998 en 2020;
- aantal schepen per uur (twee richtingen), voor 1998 en 2020;
- gemiddelde tussenafstand tussen passages voor een richting uitgedrukt in kilometers.

De in tabel 7.1 gepresenteerde gegevens zijn opgesplitst in grote zeevaart (boven 10.000 GT), rest van de zeevaart en binnenvaart. De data worden gepresenteerd voor de trajecten:

- voor Zeebrugge, toegangsheul;
- Wielingen;
- Sloehaven-Terneuzen;
- Terneuzen-Hansweert;
- richting Antwerpen (Hansweert – Antwerpen).

Voor het jaar 2020 zijn de aantallen binnenvaartschepen evenredig met het aantal zeeschepen verhoogd (ongeveer 40%).

De resultaten laten zien dat het stuk Terneuzen-Hansweert het drukst is met 29.000 (1998) en 39.000 (2020) binnenvaartschepen per jaar (dit zijn de cijfers voor één richting). Iets minder druk is de route naar Antwerpen met 10.000 (1998) en 14.000 (2020) schepen. De gemiddelde tussenafstand tussen de zeeschepen is minimaal 9 kilometer (kleine zeeschepen in 2020). De onderlinge afstand tussen de binnenschepen is gemiddeld minimaal 3 kilometer (2020, Terneuzen-Hansweert) en 9 kilometer op het traject naar Antwerpen (2020).

Deze getallen geven een indicatie van de verkeersintensiteit op de vaarweg. Deze lijkt nog alleszins acceptabel. Echter, wil men meer inzicht hebben in de frequentie van voorkomen van verkeerssituaties dan dient men separaat verkeerssimulaties uit te voeren. In zulke verkeerssimulaties kan men bijvoorbeeld het effect van schuttingen op het verkeersbeeld onderzoeken.

Hydrodynamische interactie

Hydrodynamische interactie bij het opgelopen worden van binnenvaart door zeevaart is het optreden van zuiging tussen de schepen en golfvorming door het zeeschip. De zuiging kan als effect hebben dat het binnenvaartschip uit zijn roer loopt en één kant uit draait. Golfvorming kan als effect hebben dat er golven in het binnenschip lopen waardoor het dieper gaat liggen en mogelijk zelfs kan zinken. Ook kan het schip door deze golven even onbestuurbaar zijn.

Zuiging is alleen merkbaar als schepen relatief dicht bij elkaar komen. Als schepen orde 100 meter uit elkaar blijven (afstand tussen de zijden), dan is de zuiging naar verwachting, acceptabel laag.

De golven die het zeeschip genereert dempen langzaam uit en zijn dus ook op een relatief grote afstand merkbaar. Binnenschepen hebben hier geen problemen mee als ze een voldoende hoog vrijboord hebben en alle toegangen voldoende waterdicht zijn afgesloten (we gaan ervan uit dat scheepssterkte geen item is).

Conclusie

Hoewel het scheepvaartverkeer veel drukker wordt in het Schelde-estuarium verwachten wij dat er nog steeds voldoende ruimte is voor binnenvaart en zeevaart samen. Problemen die optreden hebben te maken met de hydrodynamische interactie tussen schepen, hiermee wordt bedoeld de golfvorming door zeeschepen en eventueel zuiging. Of dit tot problemen leidt hangt af van de bouw van het schip en de maatregelen die de schipper neemt om ongewenst vervullen te voorkomen. Dit is sterk afhankelijk van de situatie en het is moeilijk om hier in algemene termen iets over te zeggen.

8 MOGELIJKHEID EN RESTRICTIES MET BETREKKING TOT HET LICHTEREN VAN ZEESCHEPEN IN DE VAARGEUL

Er wordt op dit moment in het riviertraject, tussen Terneuzen en Hansweert (Put van Terneuzen) geankerd in de vaargeul om diepgeladen bulkcarriers te kunnen lichten. De diepgeladen bulkcarriers liggen voor anker en er komt een kraan langsij met een binnenvaartschip en de kraan gaat lading overslaan van het zeeschip naar het binnenvaartschip. De situatie kent drie aspecten:

1. Het ruimtebeslag van de ankerligger;
2. Hydrodynamische interactie;
3. Risico op ongevallen.

Ruimtebeslag

Gezien de vorm van de ankergebieden en de locaties met diep water ligt het voor de hand dat de schepen aan de zuidkant van het ankergebied voor anker gaan. Ligt het schip redelijk dicht onder de zuidoever, ongeveer een scheepsbreedte uit de geulrand, en wordt de normale passagemarge van twee scheepsbreedtes (een keer de breedte van het eigen schip en een keer de breedte van het andere schip) aangehouden dan is de benodigde breedte 128 meter voor een panamax schip en ongeveer 168 meter voor een post-panamax. Met de schepen die langsij liggen en eventueel enige beweging door wind, resulteert dit in een strook van 150 tot 200 meter voor het geankerde schip. De restbreedte van de geul is 300 tot 350 meter. Dit betekent voor de grotere schepen dat dit een gebied wordt met enkelstrooks verkeer. Ook hier zal het verkeer zo geregeld moeten worden dat ontmoetingen worden voorkomen.

Daarnaast zal men na de omslag van het getij rondzwaaien om het anker. Tengevolge van dit rondgaan zal de geul enige tijd geblokkeerd zijn. Het is mogelijk om het rondzwaaien te voorkomen door de schepen af te meren op tenminste twee meerboeien, ook is het mogelijk om het zwaaien gecontroleerd te laten plaatsvinden door een sleepboot ter assistentie bij het geankerde schip te stationeren.

Met de toename van het verkeer zullen dit soort blokkades en restricties de vlotheid van de verkeersafwikkeling belemmeren.

Hydrodynamische interactie

Dit zijn vergelijkbare effecten als bij de interactie zeevaart binnenvaart, te weten:

- golfvorming door het passerende zeeschip;
- zuiging.

De golfvorming kan ook hier tot gevolg hebben dat binnenschepen vervullen en zinken. De kansen hierop zijn wat groter doordat voor het laden de luiken open zullen moeten. Verder kunnen zowel de golfvorming als de zuiging resulteren in hoge krachten in de afmeerlijnen waardoor de afmeerlijnen breken waarmee zowel de kraan als het binnenschip aan het zeeschip zijn vast gemaakt. Dit resulteert in het op drift raken van zowel kraan als bak.

Maatregelen om golfvorming en zuiging tegen te gaan zijn het reduceren van de vaarsnelheid van het passerende zeeschip en een zo groot mogelijke tussenafstand houden tussen het geankerde schip en het passerende schip. Beide maatregelen zijn hinderlijk voor het binnenkomende verkeer.

Risico op ongevallen

Met de aanwezigheid van ankerliggers in de vaargeul is er een kans dat een ankerligger wordt aangevaren door een passerend schip. Met het MANS-model zijn hiervoor berekeningen uitgevoerd. Deze worden beschreven in hoofdstuk 9. Uit deze berekeningen volgt dat er een redelijke kans is dat ankerliggers worden geraamd door passerende schepen en dat het berekende risico goed overeenkomt met waargenomen ongevallen.

Samenvattend

Het lichten van schepen in de vaargeul betekent dat de vaargeul ter plaatse van het geankerde schip effectief versmalt. Verder moet men rekening houden met voldoende passeerafstand en een voldoende lage snelheid om golfvorming en zuiging te beperken. Dit betekent effectief dat er een extra hindernis in de vaarweg ligt waarmee in het vaarschema rekening gehouden moet worden. Dit is ongewenst als men ziet hoe sterk de aantallen schepen in de komende twintig jaar gaan groeien.

Daarnaast vormen de ankerliggers een risico factor. Het zoveel mogelijk beperken van ankerliggers in de geul verhoogt de veiligheid van de scheepvaart, zie ook hoofdstuk 9.

9 VEILIGHEID IN HET SCHELDE-ESTUARIUM

9.1 Inleiding

Het aantal ongevallen dat plaatsvindt is een belangrijke indicator voor het aangeven van de veiligheid in een gebied. Het aantal ongevallen zal over het algemeen toenemen bij een groter verkeersaanbod. Niet ieder ongeval is even ernstig. In een risicoberekening wordt alleen gekeken naar die ongevallen waarbij de gevolgen voor schip (intern risico) en omgeving (extern risico) groot kunnen zijn.

De basis voor een risicoberekening is de ongevalskans. Deze vermenigvuldigd met het aantal scheepsbewegingen uit de gevaarlijke categorie geeft de basisinvoer voor de risicoberekening. Het is dus van groot belang om deze ongevalskans goed te kunnen schatten. De ongevalskans wordt over het algemeen bepaald uit historisch materiaal. Echter, soms wil men weten hoe de ongevalskans verandert wanneer men een verandering aanbrengt in de verkeersafwikkeling of wanneer het verkeersaanbod in grootte en samenstelling verandert.

Om antwoord te kunnen geven op dergelijke vragen is het MANS-model (Management Analysis North Sea), of nauwkeuriger gezegd de scheepvaartmodule van het MANS-model, ontwikkeld. Deze module bevat een verzameling ongevalskansmodellen, die worden toegepast om het aantal ongevallen te voorspellen in een gebied op basis van een beschrijving van het gebied in termen van:

- De scheepvaartroutes, geografische ligging en breedte van de routes.
- De intensiteit (aantal passages per jaar) en samenstelling (type en grootte van de schepen) van het scheepvaartverkeer.
- De ligging van de ankergebieden en de aanwezigheid van ankerliggers.
- Aanwezigheid van constructies zoals platforms, windparken etc.
- De dieptelijnen.

Het MANS-model is in bijlage A uitvoeriger beschreven. Het model is onder meer toegepast bij de zeer uitgebreide POLSSS-studie (Policy for Sea Shipping Safety) [9.1] waarin net als voor de situatie in het Schelde-estuarium naar de toekomstige veiligheid wordt gekeken.

De parameters van de ongevalskansmodellen van MANS zijn bepaald op basis van de waargenomen ongevallen in 14 jaar. Het model is ontwikkeld voor de Noordzee, maar omdat de modellen generiek zijn kan het ook in andere gebieden worden toegepast.

In paragraaf 9.2 wordt de aanpak van deze studie in de vorm van een stappenplan gegeven. In 9.3 worden de stappen uitgewerkt. In 9.4 worden de overzichtstabellen voor de bij aanvaringen betrokken schepen gegeven en wordt de veiligheid van de “ankerliggers” beschreven. Het mogelijke effect van maatregelen wordt behandeld in 9.5. In 9.6 volgt een samenvatting van alle resultaten en de conclusies van dit veiligheidsonderzoek.

9.2 Aanpak voor het gebruik van MANS voor de langetermijnvisie Schelde-estuarium

Het MANS-model is ontwikkeld voor de Noordzee. Hoewel met generieke ongevalskansmodellen wordt gewerkt kan het zijn dat sommige van de gebruikte parameters in de ongevalskansmodellen voor de andere vaaromstandigheden in het Schelde-estuarium andere waarden kunnen aannemen. Om dit te onderzoeken wordt voor de huidige verkeersafwikkeling in het Schelde-estuarium het door het MANS-model voorspelde aantal ongevallen vergeleken met het aantal waargenomen ongevallen. Op basis hiervan wordt dan een eventuele correctiefactor bepaald. Vervolgens kan het verwachte aantal ongevallen voor een aantal verkeersscenario's worden vastgesteld.

Het onderzoek bestaat uit de volgende stappen:

- stap 1. Modelleren van de verkeersafwikkeling in het Schelde-estuarium
- stap 2. Bepalen van het aantal ongevallen voor de huidige situatie op basis van de modellering in stap 1.
- stap 3. Ongevalsanalyse waarin de berekende resultaten van stap 2 worden vergeleken met het aantal waargenomen ongevallen in de periode 1990-1998.
- stap 4. Modellering van de verkeersafwikkeling en berekening van het aantal ongevallen voor het geval dat de nevengeulen Everingen en Schaar van Spijkerplaat niet meer gebruikt worden.
- stap 5. Modellering van de verkeersafwikkeling en berekening van het aantal ongevallen voor de infrastructuur 1998 maar voor een toename van het binnenvaartverkeer met 50%.
- stap 6. Modellering van de verkeersafwikkeling en berekening van het aantal ongevallen voor een verkeersscenario gebaseerd op de prognoses voor 2020 waarbij nog steeds gebruik wordt gemaakt van de nevengeulen, zonder toename van het aantal binnenvaartbewegingen.
- stap 7. Modellering van de verkeersafwikkeling en berekening van het aantal ongevallen voor een verkeersscenario gebaseerd op de prognoses voor 2020 waarbij nog steeds gebruik wordt gemaakt van de nevengeulen en waarbij het aantal binnen-vaartbewegingen groeit met 50%.

Voor de risicostudie die door AVIV wordt uitgevoerd waarbij het individueel risico en groepsrisico wordt bepaald, wordt de ongevalskans per vaartuigkilometer voor een passerende gastanker op de verschillende trajectdelen bepaald.

9.3 Uitwerking van het stappenplan

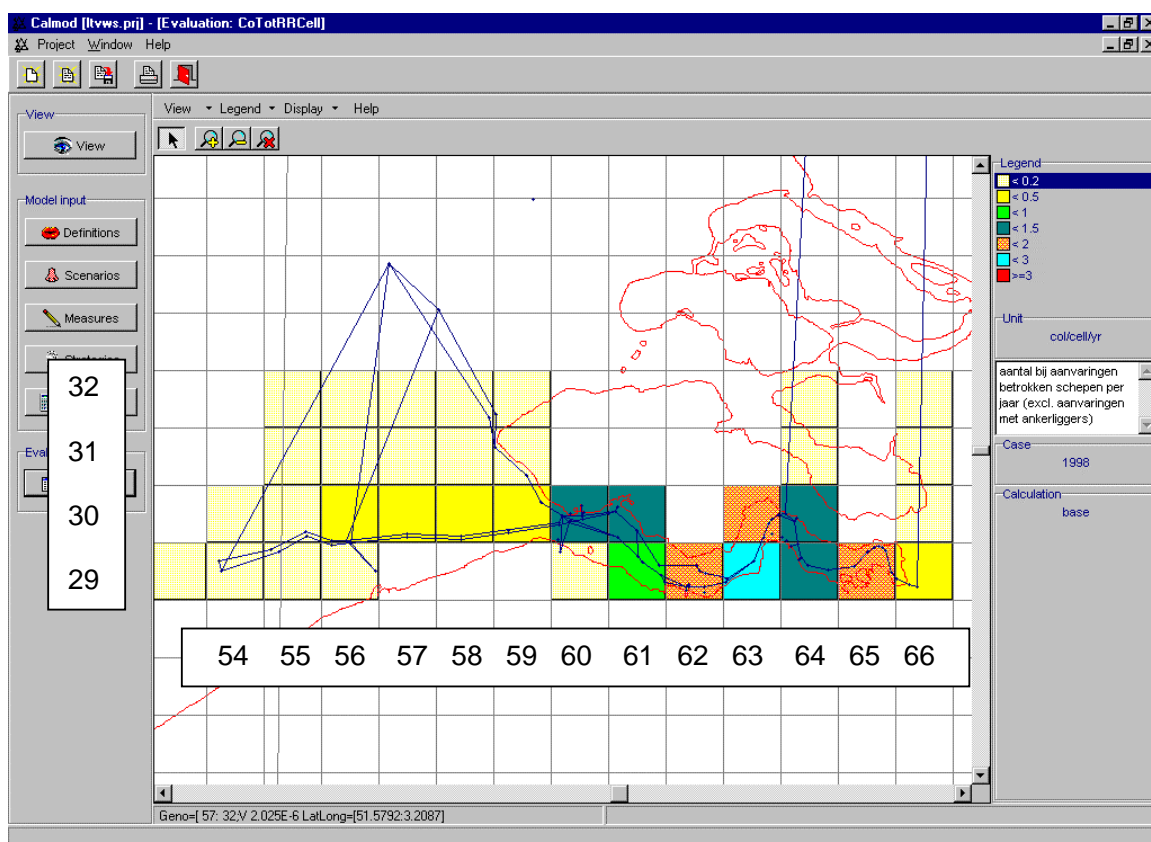
Stap 1: Modellering van de verkeersafwikkeling in het Schelde-estuarium

Bij het modelleren van het scheepvaartverkeer voor het Schelde-estuarium is gebruik gemaakt van de SRK-data van 1998, voor de scheepvaartbewegingen van de zeevaart en de meldplichtige binnenvaart. Verder is om de binnenvaartbewegingen te complementeren gebruik gemaakt van de IVS'90 gegevens van de sluizen en de bij het CBS aanwezige gegevens. Bij het samenstellen hiervan is gebruik gemaakt van de aanwezige data voor het project "Monitoring Nautische Veiligheid" [9.2] dat momenteel wordt uitgevoerd, maar dat nog niet is afgerond.

De verkeersafwikkeling is vertaald naar invoerfiles voor het MANS-model. Het resultaat wordt in stap 2 zichtbaar gemaakt.

Stap 2: Het aantal ongevallen voor de huidige verkeersafwikkeling in het Schelde-estuarium

Het MANS-model berekent het aantal ongevallen per gridcel op basis van de verkeersintensiteiten en de verkeerssamenstelling. Een gridcel is een vierkant gebiedje van 8 bij 8 km¹. Het resultaat van de berekening van het gemiddelde aantal bij aanvaringen betrokken schepen per gridcel is in figuur 9.1 weergegeven. De gemodelleerde scheepvaartroutes zijn hierin getekend. De vaartroutes, het kanaal door Zuid-Beveland en het Schelde-Rijn kanaal, zijn om modelmatige redenen ver noordwaarts getrokken, maar deze takken spelen bij de analyse in het Schelde-estuarium geen rol.



Figuur 9.1 Bij aanvaring betrokken schepen (zeevervaart + binnenvaart) per jaar voor het verkeersbeeld van 1998.

Voor de presentatie in een gebied als het Schelde-estuarium zijn de gridcellen wat groot. De waarden (het aantal bij aanvaring betrokken schepen) van de gridcellen zijn niet goed te vergelijken omdat niet door iedere gridcel evenveel verkeer gaat. Daarom is ook gekozen voor een presentatie in tabelvorm waarin het resultaat van figuur 9.1 vertaald is naar een ongevalskans per afgelegde kilometer, zie tabel 9.1. Dit is ook de vorm die gewenst is voor het berekenen van de risicocontouren. De in de tabel gegeven gridcel correspondeert met een cel op dit kaartje. Voor de oriëntatie kan het best van de gekleurde cel rechtsonder bij Antwerpen uitgegaan worden. Dit is cel (66,29). Bij sommige cellen is het traject dat door de cel gaat of een boei die in de cel ligt, vermeld. Tabel 9.1 is het gemiddelde voor alle zeeschepen en binnenvaartschepen in de

¹ In diepgaande studies kan overwogen worden om deze gridgrootte aan te passen, maar voor deze globale studie was dat niet mogelijk.

desbetreffende cel. Tabel 9.2 bevat alleen de aanvaringskansen voor de in het SRK van 1998 als gastankers geclassificeerde zeeschepen.

Aanvaringskansen voor verkeer en layout van 1998							
Locatie				kans op betrokken bij aanvaring per miljoen vaartuigkm			
Gridcel		Boei/Traject	Vaartuigkm	head_on	overtaking	crossing	totaal
i	j						
54	29	A1	278726	0.34	0.05	0.32	0.71
54	30		835	0.00	0.00	0.00	0.00
55	29	Sch2	152123	0.38	0.05	0.00	0.44
55	30	Sch1	202609	0.36	0.05	0.00	0.42
55	31		967	0.00	0.00	0.00	0.00
55	32		658	0.00	0.00	0.00	0.00
56	29	Zeebrugge	168495	0.21	0.04	0.00	0.26
56	30	Sch.zand	242982	0.48	0.06	0.77	1.31
56	31		3517	0.00	0.00	0.00	0.00
56	32		2334	0.00	0.00	0.00	0.00
57	30	Sch10	248909	0.76	0.04	0.00	0.81
57	31		1708	0.00	0.00	0.00	0.00
57	32		3197	0.00	0.00	0.00	0.00
58	30	W4	249650	0.76	0.04	0.00	0.80
58	31		20891	0.42	0.03	0.00	0.44
58	32	OG13	165087	0.12	0.03	0.00	0.14
59	30	W9, OG14	343176	0.70	0.04	0.20	0.94
59	31	OG11	200201	0.51	0.03	0.24	0.78
59	32	OG GR	31040	0.17	0.03	0.00	0.20
60	29		26910	0.41	0.03	0.00	0.44
60	30	Vlissingen	604678	0.58	0.08	1.19	1.85
61	29	Sloeh-Tern	419108	1.20	0.08	1.05	2.32
61	30	Sloehaven	416700	1.22	0.07	2.06	3.36
62	29	Terneuzen	702093	1.55	0.09	1.09	2.73
63	29	Tern-Hansw	706168	1.98	0.11	1.48	3.58
63	30	Tern-Hansw	465778	1.96	0.12	1.17	3.25
64	29	Zuidergat	439109	1.25	0.07	1.36	2.68
64	30	Hansw	427812	1.28	0.10	1.42	2.80
64	31	Kan. Z-Beve	106675	0.00	0.03	0.00	0.03
64	32	Kan. Z-Beve	106675	0.00	0.03	0.00	0.03
65	29	Hans-Antw	638384	1.28	0.07	1.08	2.43
66	29	Tot Zandvliet	240390	0.94	0.06	0.24	1.24
66	30	Schelde Rijnk	83433	0.00	0.02	0.00	0.02
66	31	Schelde Rijnk.	83433	0.00	0.02	0.00	0.02
66	32	Schelde Rijnk.	83433	0.00	0.02	0.00	0.02
Totaal			7867880	1.01	0.07	0.84	1.92
Schepen in aanvaring / jaar				7.95	0.53	6.64	15.12

Tabel 9.1

De gemiddelde aanvaringskans per afgelegde kilometer om bij een aanvaring (exclusief aanvaringen met ankerliggers) betrokken te raken voor zee- en binnenvaart

Aanvaringskansen voor gascarriers voor basisjaar 1998							
Locatie				kans op betrokken bij aanvaring per miljoen vaartuigkm			
Gridcel		traject	vaartuigkm	head_on	overtaking	crossing	totaal
i	j		per jaar				
54	29		10055	0.44	0.06	0.41	0.91
54	30		55	0.00	0.00	0.00	0.00
55	29		5519	0.49	0.07	0.00	0.55
55	30		7291	0.46	0.07	0.00	0.53
55	31		64	0.00	0.00	0.00	0.00
55	32		43	0.00	0.00	0.00	0.00
56	29		3769	0.41	0.08	0.00	0.49
56	30	Wielingen	9258	0.54	0.07	0.78	1.39
56	31		32	0.00	0.00	0.00	0.00
56	32		28	0.00	0.00	0.00	0.00
57	30	Wielingen	10656	0.74	0.04	0.00	0.78
57	31		28	0.00	0.00	0.00	0.00
57	32		52	0.00	0.00	0.00	0.00
58	30	Wielingen	10688	0.74	0.04	0.00	0.78
58	31		998	0.41	0.02	0.00	0.44
58	32		7836	0.11	0.02	0.00	0.14
59	30	Oostg+Wiel	15110	0.68	0.03	0.21	0.92
59	31	Oostgat	9475	0.50	0.02	0.24	0.77
59	32		1459	0.17	0.02	0.00	0.19
60	29		0				
60	30	Vlissingen	19909	0.66	0.08	1.09	1.83
61	29	Sloeh-Tern	14777	1.29	0.08	1.27	2.63
61	30	Sloehaven	14033	1.31	0.07	2.07	3.45
62	29	Terneuzen	13105	1.75	0.08	1.05	2.88
63	29	Tern-Hansw	10579	2.25	0.11	1.67	4.02
63	30	Tern-Hansw	6997	2.21	0.11	1.58	3.91
64	29	Zuidergat	10395	1.37	0.06	1.18	2.61
64	30	Hansw	6841	1.66	0.09	1.46	3.21
65	29	Hans-Antw	15868	1.35	0.06	1.14	2.56
66	29	Tot Zandvliet	4408	1.35	0.06	0.18	1.60
Totaal			209328	1.01	0.06	0.79	1.86
Schepen in aanv / jaar				0.21	0.01	0.17	0.39

Tabel 9.2

De gemiddelde aanvaringskans per afgelegde kilometer om bij een aanvaring (exclusief aanvaringen met ankerliggers) betrokken te raken voor een gascarrier.

Berekening van het aantal aanvaringen met ankerliggers

Voor de berekening van het aantal aanvaringen met geankerde schepen is een aparte module binnen het MANS-model aanwezig. Het resultaat van een berekening met deze module is weergegeven in de onderstaande tabel 9.3.

	gemiddeld aantal ankerliggers	verwacht aantal aanvaringen met ankerliggers	gemiddeld aantal keren dat een ankerligger wordt aangevaren indien deze 1 jaar voor anker ligt
Wielingen_Z	0.03	0.02	0.76
Wielingen_NW	0.19	0.11	0.57
Wielingen_NO	0.19	0.17	0.89
Vlissingen	3.05	1.51	0.49
Springergeul	0.17	0.14	0.82
Everingen_ABC	0.20	0.01	0.04
Everingen_DE	0.16	0.00	0.01
Hansweert	0.25	0.20	0.82
Put v. Terneuzen_AB	0.20	0.37	1.84
Totaal	4.44	2.53	0.57

Tabel 9.3 **Gemiddeld aantal keren per jaar dat een passerend schip in aanvaring komt met een ankerligger**

Het aantal keren dat een schip tegen een ankerligger vaart, hangt sterk af van de gemiddelde bezettingsgraad van de ankergebieden. Voor de berekening is de gemiddelde bezettingsgraad van de verschillende ankergebieden bepaald. Uit de SRK-data van 1998 is de totale ankerduur in uren per ankergebied berekend en gedeeld door het aantal uren in een jaar. Dit gemiddelde is (kolom 2 van tabel 9.3) gebruikt voor de berekening van het aantal aanvaringen met ankerliggers voor het jaar 1998. In de laatste kolom van tabel 9.3 is het aantal aanvaringen gedeeld door de bezetting. Dit getal geeft het risico aan voor een schip dat voor anker gaat in een bepaald ankergebied. Dit risico wordt bepaald uit de combinatie van de ligging van het ankergebied ten opzichte van de scheepvaartroutes en de intensiteit van de scheepvaart op deze routes.

In de Put van Terneuzen loopt een ankerligger het grootste risico en in de Everingen het minste. Bij het ankergebied bij Vlissingen vinden de meeste aanvaringen plaats maar dit komt vooral door het frequente gebruik van dit ankergebied.

Stap 3 Ongevalsanalyse en modelverificatie

In deze stap wordt het resultaat van stap 2 vergeleken met wat uit de ongevalsanalyse komt. De volgende indeling in ongevalscategorieën is te maken.

- Alle ongevallen
 - Strandingen
 - Schadevaring
 - Brand en explosie
 - Zinken
 - Spontane structurele schade
 - Aanvaringen
 - Tussen varende schepen
 - Met ankerliggers
 - Passerende scheepvaart met ankerligger
 - Gedurende ankermanoeuvre
 - Op drift geraakt, krabbend anker of breuk ankerketting

Bij een risicoberekening is niet alleen de kans op een ongeval van belang maar speelt ook de kans op een bepaald gevolg van het ongeval een belangrijke rol. Het externe risico wordt vooral bepaald door de kans op een uitstroom van gevaarlijke stoffen uit de ladingtanks na een ongeval. Hierbij zijn de ammoniak vervoerende gastankers maatgevend. Om deze reden is de ongevalsanalyse voor deze studie beperkt tot die ongevallen waarbij zo'n vervolgcans optreedt. Bij een stranding op een rotsachtige bodem kan de schade groot zijn, maar bij een stranding op de zandige bodem van het Schelde-estuarium is de kans op een schade waarbij zo mogelijk uitstroom van goed beschermde lading als ammoniak plaatsvindt, verwaarloosbaar, in ieder geval veel kleiner dan de kans op een uitstrooimcident na een aanvaring.

De ongevalscategorie aanvaringen levert in het Schelde-estuarium de grootste kans op een schade met mogelijke uitstroom. Binnen de groep aanvaringen is er ook weer een onderverdeling te maken waarbij de mogelijke schade die optreedt duidelijk verschillend is. In het MANS-model worden de subcategorieën onderscheiden zoals hierboven is aangegeven. Er wordt verondersteld dat de snelheid bij het raken van een ankerligger tijdens het ten anker komen of bij het verlaten van de ankerplaats zo laag is dat er geen schade zal optreden die tot een uitstroom zal leiden. Dit geldt zeker voor een dubbelwandig schip als een gascARRIER. Alleen bij een uitstekend anker kan de schade aanmerkelijk zijn. Dit zelfde geldt in feite bij de subcategorie "op drift geraakt", "krabbend anker" of "breuk ankerketting". Ook hier zijn de snelheden laag en is de verwachte schade klein.

Bij aanvaring van een ankerligger door een passerend schip kan de schade wel groot zijn. Dit geval is te vergelijken met een kop-flank aanvaring van twee varende schepen. Wel is het zo dat de grootste schade zal optreden bij de ankerligger. Door de scheepsconstructie is het niet te verwachten dat de schade van het aanvarende schip, de rammer, zo groot is dat er uitstroom uit de ladingtanks van dit schip zal optreden. Voor de ankerligger, het geramde schip, is er wel zeker een kans op een uitstroom, namelijk een kans vergelijkbaar met de uitstroomkans van het aangevaren schip bij een aanvaring tussen twee varende schepen. In gevolge van het RVGZ (Reglement Voor Gevaarlijke stoffen vervoerende Zeeschepen) mogen de schepen voor het vervoer van tot vloeistof verdichte of verkoelde gassen alleen in geval van nood in de ankergebieden in de Westerschelde voor anker gaan. Aangezien deze schepen maatgevend zijn voor het externe risico en dus niet tot de ankerliggers in de Westerschelde behoren kunnen de ongevallen met ankerliggers voor wat betreft de berekening van het externe risico buiten beschouwing worden gelaten.

Uit de ongevalsanalyse voor het Schelde-estuarium blijkt dat deze aannames geen geweld wordt aangedaan. Het resultaat van de analyse van de ongevallen over de periode 1990-1998 is weergegeven in de tabel 9.4 en 9.5.

Sub Categorie	Binnenvaart						Zeevaart					Som
	Scheepsschade						Scheepsschade					
	Onbe- kend	Geen	Tros	Lichte	Zwaar	totaal	Onbe- kend	Geen	Lichte	Zwaar	Totaal	
Manoeuvrerend vaartuig		1				1			1		1	2
Meeligger		1		1		2		1	1		2	4
Onbekend							2		1		3	3
Assisterend vaartuig	2		1			3	1				1	4
Koerskruiser		2		4		6	2	2	3		7	13
Meeligger	1	3		3	1	8	5	4	13		22	30
Oploper	2			1	1	4	6	1	1		8	12
Tegenligger	2			3	2	7	8	3	5	11	27	34
	7	7	1	12	4	31	24	11	25	11	71	102

Tabel 9.4

Schepen betrokken bij aanvaringen exclusief de aanvaringen met ankerliggers in de periode 1990-1998.

Ankergebied	Sub Categorie	Binnenvaart						Zeevaart					Som
		Scheepsschade						Scheepsschade					
		Onbe- kend	Geen	Tros	Lichte	Zwaar	Totaal	Onbe- kend	Geen	Lichte	Zwaar	Totaal	
Ergens in geul	Rammen				1		1		1			1	2
Springergeul	Rammen					1	1						1
Vlissingen	Onbekend	2					2	18				18	20
	Drifter								2	2		4	4
	Ankeren									2		2	2
	Rammen					1	1			5	2	7	8
Wielingen	Rammen				1	1	2			1	1	2	4
Terneuzen	Onbekend	2					2						2
	Rammen		2		2	2	6						6
Onbekend	Onbekend				1		1		1			1	2
	Rammen									2			2
Alle		4	2	0	5	5	16	18	4	12	3	37	53

Tabel 9.5

Schepen betrokken bij aanvaringen met ankerliggers in de periode 1990-1998

Tabel 9.4 geeft het aantal schepen betrokken bij andere aanvaringen. Tabel 9.5 geeft het aantal schepen betrokken bij aanvaringen met ankerliggers in de periode 1990-1998. In de kolommen is een uitsplitsing gemaakt naar het type schip (binnenvaart en zeevaart) en naar de waargenomen scheepsschade ("onbekend", "geen", "lichte" en "zwaar"). In de rijen worden de verschillende ankergebieden genoemd. Omdat in het Schelde-estuarium veel ankergebieden voorkomen en gebruikt worden, komen er relatief veel aanvaringen met ankerliggers voor. Alle drie zwaar beschadigde zeeschepen betrokken bij aanvaringen met ankerliggers waren de geramde ankerliggers zelf.

Verificatie voorspelling aanvaringenmodel

Het gemiddelde aantal schepen dat per jaar betrokken is bij aanvaringen tussen varende schepen bedraagt volgens de ongevalsanalyse $102/9 = 11.3$ (totaal van tabel 9.4) / (aantal jaren van de periode), waarvan 3.4 (30%) binnenvaartschepen.

Het gebied dat gedekt wordt door de ongevalsanalyse is kleiner dan de berekening bij stap 2. Een nieuwe berekening met het MANS-model voor het gebied van de ongevalsanalyse levert een gemiddelde per jaar van 13.6 schepen betrokken bij aanvaringen, waarvan 5.0 (36%) binnenvaartschepen.

Uit deze ongevalsanalyse is geconcludeerd dat de uitkomsten van het MANS-model niet gecorrigeerd behoeven te worden mede gezien de volgende feiten:

- Het met het MANS-model berekende aantal ongevallen is altijd iets hoger dan hetgeen dat uit de ongevalsstatistieken komt, omdat de dekking van de ongevalsstatistieken niet volledig is en hiervoor bij de bepaling van de parameters in het MANS-model gecorrigeerd is. Een onderzoek voor de Noordzee heeft uitgewezen dat maar 70% van het aantal aanvaringen in de ongevalsstatistiek komt. Voor het Schelde-estuarium zal de dekking van de ongevalsstatistieken groter zijn, maar toch niet 100% (men schat 90%).
- De realisatie van een ongeval is een min of meer stochastisch proces. Zelfs bij een realisatie van 102 bij aanvaringen betrokken schepen, het resultaat van 51 aanvaringen, kan men slechts de uitspraak doen dat het gemiddelde aantal aanvaringen voor een periode van 9 jaar bij ongewijzigde omstandigheden met 95% betrouwbaarheid ligt tussen 38 en 67 aanvaringen per jaar, dus tussen 76 en 134 bij aanvaringen betrokken schepen.

Bovendien speelt de correctiefactor geen enkele rol wanneer wordt gekeken naar de verandering van de veiligheid door een verandering in het verkeersaanbod en/of de verkeersafwikkeling.

Verificatie model voor aanvaringen van ankerliggers door passerende vaart

In tabel 9.6 is het berekende aantal aanvaringen (van tabel 9.3) van de doorgaande vaart met een ankerligger voor een periode van 9 jaar bepaald (9 maal jaargemiddelde). Dit aantal kan vergeleken worden met het waargenomen aantal gedurende de periode van 1990-1998. Hiertoe is het aantal bij aanvaringen met ankerliggers betrokken schepen (van tabel 9.5) door twee gedeeld, omdat het MANS-model het aantal "rammers" van de passerende vaart bepaalt. Tabel 9.6 bevat een groot aantal vraagtekens in de laatste kolom omdat de ongevalsbeschrijving ontbreekt. Wel mag worden aangenomen dat de meeste gevallen behoren tot de groep passerende vaart die een ankerligger aanvaart.

Ook voor deze module uit het MANS-model mag geconcludeerd worden dat de parameters niet behoeven te worden aangepast, aangezien de voorspellingen en de waarnemingen dicht bij elkaar liggen.

Ankergebied	Gemiddeld aantal ankerliggers	Verwacht aantal rammers per jaar	Verwacht aantal rammers in 9 jaar	Waargenomen in 1990-1998
Wielingen_Z	0.03	0.02	0.20	2
Wielingen_NW	0.19	0.11	0.97	
Wielingen_NO	0.19	0.17	1.51	
Vlissingen	3.05	1.51	13.56	4+10?
Springergeul	0.17	0.14	1.25	1
Everingen_ABC	0.20	0.01	0.07	0
Everingen_DE	0.16	0.00	0.01	0
Hansweert	0.25	0.20	1.84	0
Put v Terneuzen_AB	0.20	0.37	3.31	3+1?
Totaal	4.44	2.53	22.73	10+11?

Tabel 9.6 Aantal keren dat een ankerligger wordt aangevaren door een passerend schip

Conclusie van de ongevalsanalyse

De modelparameters en ongevalskansmodellen van MANS geven voor het Schelde-estuarium ongevalsvoorspellingen die vergelijkbaar zijn met de waarnemingen en behoeven dan ook niet te worden aangepast.

Bovendien is het voor een vergelijkende studie als deze niet van belang om het juiste niveau te bepalen maar wordt het model gebruikt om de verandering van het veiligheidsniveau te bepalen voor een verandering in het verkeersaanbod en/of de verkeersafwikkeling.

Het MANS-model is dus voor het Schelde-estuarium zeer goed bruikbaar.

Verdere aanpak in stap 4, 5, 6 en 7

In de volgende stappen wordt door middel van een aantal verkeersscenario's nagegaan wat de effecten zijn van verandering in de verkeersintensiteit, verkeerssamenstelling en verkeersafwikkeling op de verkeersveiligheid in het Schelde-estuarium. Steeds wordt een plaatje getoond met de verandering van het aantal ongevallen in het Schelde-estuarium ten opzichte van het in figuur 9.1 getoonde ongevalsniveau bij het verkeer van 1998. Vervolgens wordt in tabel 9.7 (een tabel over twee bladzijden die pas na de behandeling van alle scenario's in 9.4 gegeven wordt) een totaaloverzicht gegeven van alle scenario's naast elkaar. Dit geeft snel inzicht in de verandering van de ongevalskans voor de verschillende gridcellen.

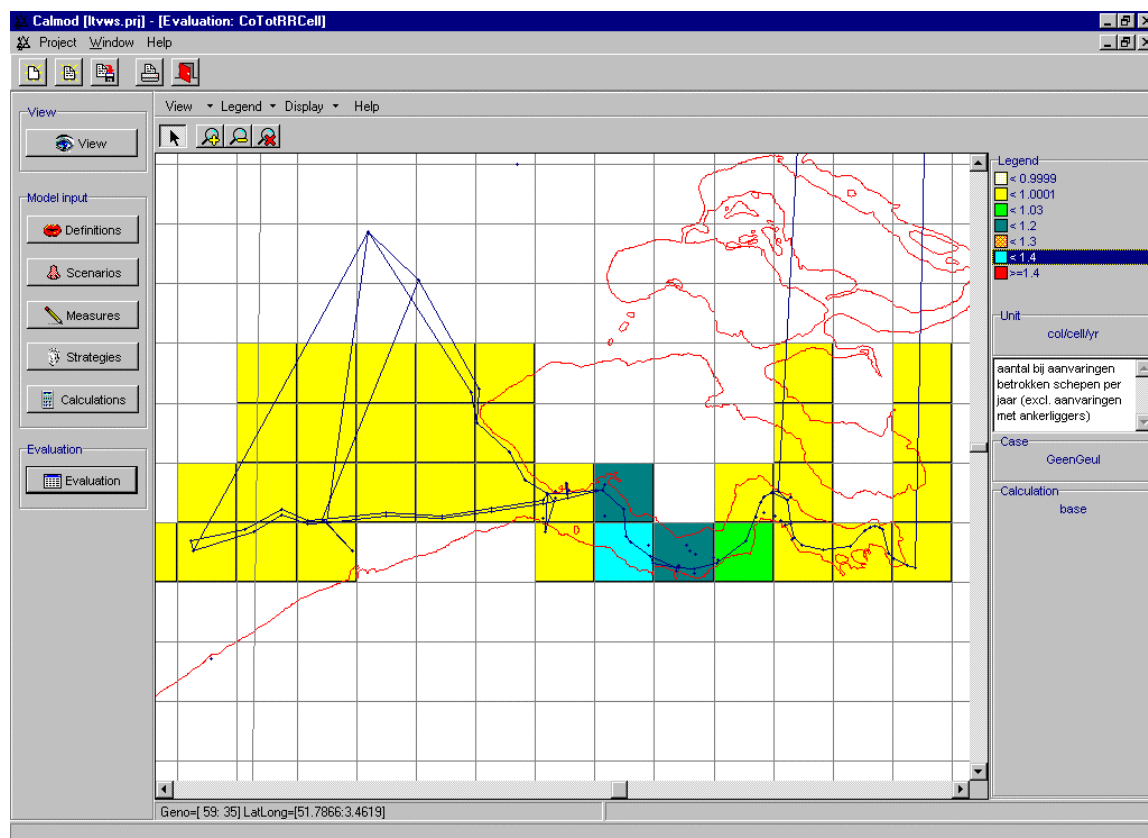
Voor de juiste interpretatie van figuren en tabel, moet men wel bedenken dat de "verandering in het aantal ongevallen" van de figuren, globaal het effect is van een "verandering in de intensiteit" keer "de verandering in de ongevalskans". Dit effect is min of meer kwadratisch, hetgeen ook goed te zien is in het totaaloverzicht van tabel 9.7 (in 9.4). De onderste twee regels geven de totalen voor het hele gebied. Op de op een na onderste regel staat achter "Totaal" voor de verschillende scenario's de "verandering in het aantal afgelegde kilometers" en de verandering van de "gemiddelde ongevalskans per miljoen afgelegde vaartuigkilometer" en op de onderste regel staat het totaal aantal ongevallen. Voor het laatste scenario wordt het aantal vaartuigkilometers 1.4 maal zo groot en de ongevalskans 1.49 maal zo groot. Het "gemiddelde aantal ongevallen per jaar" wordt daardoor $1.4 \times 1.49 = 2.09$ maal zo groot.

Het effect van een verkeersscenario op het aantal keren dat een ankerligger door een passerend schip wordt aangevaren is beter in tabelvorm dan grafisch weer te geven.

Om deze reden worden de aanvaringen met ankerliggers voor alle scenario's gezamenlijk behandeld in 9.4.

Stap 4 Berekening van het ongevalsniveau voor het Schelde-estuarium zonder nevengeulen

Voor dit scenario zijn alle schepen die in 1998 door de Everingen en de Schaar van Spijkerplaat zijn gevaren omgerouteerd over de hoofdroute door het Schelde-estuarium. Voor deze verkeersafwikkeling is eveneens met MANS het verwachte aantal bij aanvaringen betrokken schepen bepaald. In figuur 9.2 is de verhouding van het aantal ongevallen per gridcel voor de situatie zonder nevengeulen gedeeld door het aantal ongevallen van het basisjaar 1998. De meeste gridcellen zijn geel hetgeen inhoudt dat het ongevalsniveau gelijk gebleven is. De scheepvaart routes door de Schaar van Spijkerplaat en de Everingen zijn verdwenen. Het aantal aanvaringen in de gridcellen waar deze nevengeulen doorheen liepen is duidelijk toegenomen. Absoluut stijgt het aantal bij aanvaringen betrokken schepen van 15.1 naar 16.0. Voor het gehele gebied blijft de toename beperkt tot 6%. Echter, lokaal neemt het aantal ongevallen met meer dan 30% toe.

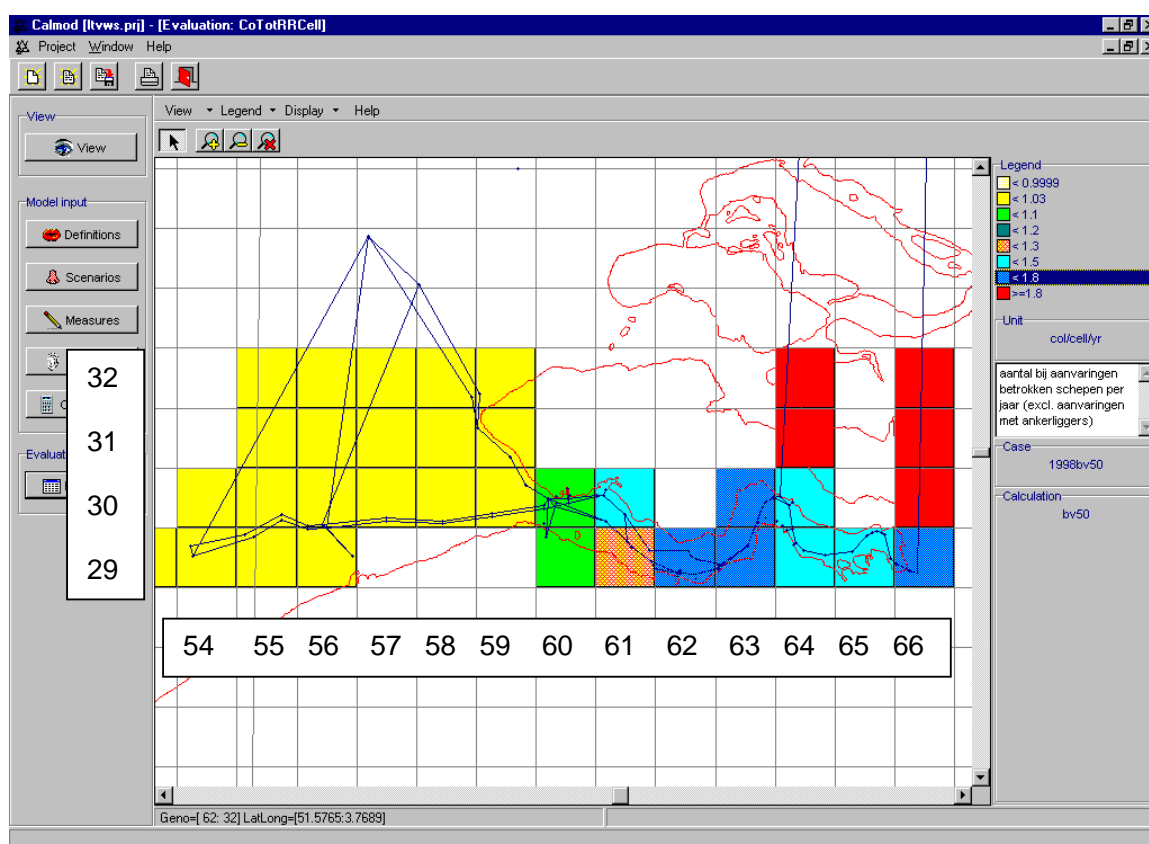


Figuur 9.2 *Verandering van het aantal bij aanvaringen betrokken schepen indien de nevengeulen Everingen en de Schaar van Spijkerplaat niet meer gebruikt mogen worden*

In tabel 9.7 (in 9.4) is de ongevalskans per gridcel in absolute waarde gegeven en in een relatieve verandering ten opzichte van het basisjaar 1998.

Stap 5 Modelleren van de verkeersafwikkeling en berekening van het aantal ongevallen voor de infrastructuur van 1998 bij een toename van het binnenvaartverkeer met 50%.

De groei van de binnenvaart is moeilijk te voorspellen. Daarom is met een scenario gewerkt waarbij de binnenvaart met 50% toeneemt, hetgeen het resultaat zou kunnen zijn van een zeer actief stimuleringsprogramma van de binnenvaart. Deze toename is integraal over alle binnenvaart bewegingen aangebracht, dus zonder verschuiving in de verkeersstromen van de binnenvaart aan te brengen. Het effect van dit scenario is weergegeven in figuur 9.3. Duidelijk is dat de grootste effecten ontstaan op het traject tussen Hansweert en Terneuzen, waar het aandeel van de binnenvaart het grootst is. Ook zijn grote toenames te zien op de zuiver binnenvaartroutes als het kanaal door Zuid-Beveland en het Schelde-Rijnkanaal, maar het absolute aantal ongevallen is daar niet groot.



Figuur 9.3

Verandering van het aantal bij aanvaringen betrokken schepen ten opzichte van het basisjaar 1998 bij een 50% toename van het binnenvaartverkeer.

Voor dit scenario worden 21.77 bij aanvaringen betrokken schepen per jaar verwacht. Dit is een toename van 44% ten opzichte van het aantal in het basisjaar.

Stap 6 Modelleren van de verkeersafwikkeling en berekening van het aantal ongevallen voor een verkeersscenario gebaseerd op de prognoses voor 2020 waarbij nog steeds gebruik wordt gemaakt van de nevengeulen, zonder toename van het aantal binnenvaart bewegingen.

Het verkeersscenario voor 2020 is gebaseerd op:

- De prognose van het zeevaartverkeer in het Scheldebekken voor 2020 uit de studie van Policy Research Corporation [4.1].
- De aanname dat er geen veranderingen in het binnenvaartverkeer ten opzichte van het basisjaar 1998 hebben plaatsgevonden.
- De Westerschelde Container Terminal bij Vlissingen die in gebruik genomen is.
- De nevengeulen Schaar van Spijkerplaat en de Everingen die nog in gebruik zijn.

In [4.1] is de prognose van de verwachte groei in overslag gegeven, welke is vertaald naar een verwachting van het aantal scheepsbewegingen voor 2020 voor Vlissingen, Terneuzen, Gent en Antwerpen. Bovendien is voor Vlissingen en Antwerpen een afzonderlijke prognose gegeven voor het verwachte aantal containerschepen in 2020. De prognoses zijn gegeven voor een "pessimistisch", "middelmatic" en "optimistisch" groeiscenario. Het verkeers-scenario voor 2020 dat voor de berekening van de ongevals-kansen is samengesteld, is gebaseerd op het "optimistische" scenario rekening houdend met de geprognosticeerde schaalvergroting. Voor ieder scheepstype en grootte klasse is voor ieder van de vier havens de groeifactor afgeleid. Bij het bepalen van deze factor is ervoor gezorgd dat de geprognosticeerde factor van [4.1] in het aantal havenbezoeken tussen 1998 en 2020 wordt bereikt. De schaalvergroting is ingebracht door er voor te zorgen dat het aantal schepen per grootte klasse maal de gemiddelde overslag voor die schepen gesommeerd over alle scheepstypen en grootten (exclusief de containervaart) dezelfde stijging vertoont als in [4.1] genoemd. Op de volgende drie pagina's staan voor Antwerpen, voor Vlissingen en voor Gent en Terneuzen gecombineerd de rekentabellen afgedrukt waarmee de omzetting heeft plaatsgevonden. Bovenaan staat steeds de aankomstentabel volgens SRK voor het jaar 1998 verdeeld over scheepstypen en grootteklassen zoals gebruikt in MANS. In de volgende tabel is het aantal per klasse vermenigvuldigd met de gemiddelde DWT per grootteklasse. In de derde tabel op de pagina staan voor 2020 de groeifactoren genoemd. Deze zijn gebruikt om de aantallen voor 2020 te bepalen en het totaal aan DWT per grootteklasse. In de laatste tabel is gecontroleerd op de gekozen groeifactoren het gewenste resultaat zoals is geprognosticeerd in [4.1] oplevert. Gent en Terneuzen zijn samen genomen omdat deze dezelfde groeifactoren opleveren. De groeifactoren van Gent en Terneuzen zijn ook gebruikt voor de andere bestemmingen die niet tot deze vier bestemmingen behoren.

Vervolgens is aangenomen dat de verkeersafwikkeling voor een bepaalde grootte klasse van een schip niet verandert. Dit betekent dat de verhouding tussen het gebruik van het Oostgat en de Wielingen voor kleine schepen niet verandert. Echter, doordat het aantal grote schepen toeneemt en het aantal kleine schepen afneemt, gaat er in 2020 relatief veel meer door de Wielingen dan in 1998.

Aantal havenaanlopen van Antwerpen en omgeving in 1998 uit SRK

		Grootte klasse (bovengrens in GT)								
Scheepstype		500	1000	1500	10000	30000	60000	100000	>100000	totaal
Chemicaliën		1	44	40	1768	248	22	16	0	2139
Tanker		2	6	35	378	286	99	1	0	807
Gastanker		0	1	3	603	61	8	0	0	676
Bulk		2	1	20	191	587	139	80	2	1021
RoRo		11	3	5	263	356	370	0	0	1008
Vracht		136	496	1187	5214	1745	415	5	0	9199
Ferry/Passagier		5	5	0	6	3	23	0	0	42
Werkvaart		22	43	13	328	5	0	1	0	412
Sleper/Supplier		17	4	3	0	0	0	0	0	24
Totaal		196	603	1306	8751	3291	1076	103	2	15328

1998

gemiddelde DWT	856	1549	2439	7226	25845	64948	139358	283014	
Totaal * DWT	167776	934047	3185334	63234726	85055895	69884048	14353874	566028	237381728

2020

groefactoren 2020	0.7	0.8	0.9	1.2	1.4	1.7	2	3	
aantal excl container	137	482	1175	10501	4607	1829	206	6	18945
aantal * gem. DWT	117443	747238	2866801	75881671	119078253	118802882	28707748	1698084	347900119
Containerschepen in aantallen	0	0	0	1300	1110	2210	612	43	5275

Controle groei exclusief containers

	1998	2020	groefactor
aantallen volgens [4.1]	12835	15914	1.24
aantallen berekend	15328	18945	1.24
overslag volgens [4.1]	6576	8024	1.22
DWT berekend	15487	18364	1.19

Aantal havenaanlopen van Vlissingen en omgeving in 1998 uit SRK

		Grootte klasse (bovengrens in GT)								
Scheepstype		500	1000	1500	10000	30000	60000	100000	>100000	totaal
Chemicaliën		0	6	16	139	12	1	0	0	174
Tanker		1	1	138	214	6	4	0	0	364
Gastanker		0	0	3	77	30	9	0	0	119
Bulk		0	0	5	23	70	42	1	2	141
RoRo		0	0	1	707	63	2	0	0	773
Vracht		43	111	326	1036	235	18	0	0	1769
Ferry/Passagier		1	1	0	1	3	0	0	0	6
Werkvaart		10	346	10	307	7	0	0	0	680
Sleper/Supplier		53	31	4	11	0	0	0	0	99
Totaal		108	496	503	2515	426	76	1	0	4125

1998

gemiddelde DWT	856	1549	2439	7226	25845	64948	139358	283014	
Totaal * DWT	92448	768304	1226817	18173390	11009970	4936048	139358	0	36346335

2020

groeifactoren 2020	0.4	0.6	0.8	1	1.6	2	2		
aantal excl container	43	298	402	2515	682	152	2	0	4094
aantal * gem. DWT	36979	460982	981454	18173390	17615952	9872096	278716	0	47419569
Containerschepen in aantallen	0	0	0	616	349	570	70	30	1635

Controle groei exclusief containers

	1998	2020	groeifactor
aantallen volgens [4.1]	3468	3427	0.99
aantallen berekend	4125	4094	0.99
overslag volgens [4.1]	4152	5700	1.37
DWT berekend	8811	11583	1.31

Aantal havenaanlopen van Gent, Terneuzen en omgeving in 1998 uit SRK

	Grootte klasse (bovengrens in GT)									
Scheepstype	500	1000	1500	10000	30000	60000	100000	>100000		totaal
Chemicaliën	1	25	30	503	74	0	0	0		633
Tanker	1	29	19	229	45	2	0	0		325
Gastanker	0	0	12	383	67	10	0	0		472
Bulk	0	1	6	78	290	263	0	2		638
RoRo	0	0	2	65	439	51	0	0		557
Vracht	44	462	637	1756	113	82	0	0		3094
Ferry/Passagier	0	0	0	1	0	0	0	0		1
Werkvaart	2	20	363	37	0	0	0	0		422
Sleper/Supplier	12	2	0	1	0	0	0	0		15
Totaal	60	539	1069	3053	1028	408	0	0		6157

1998

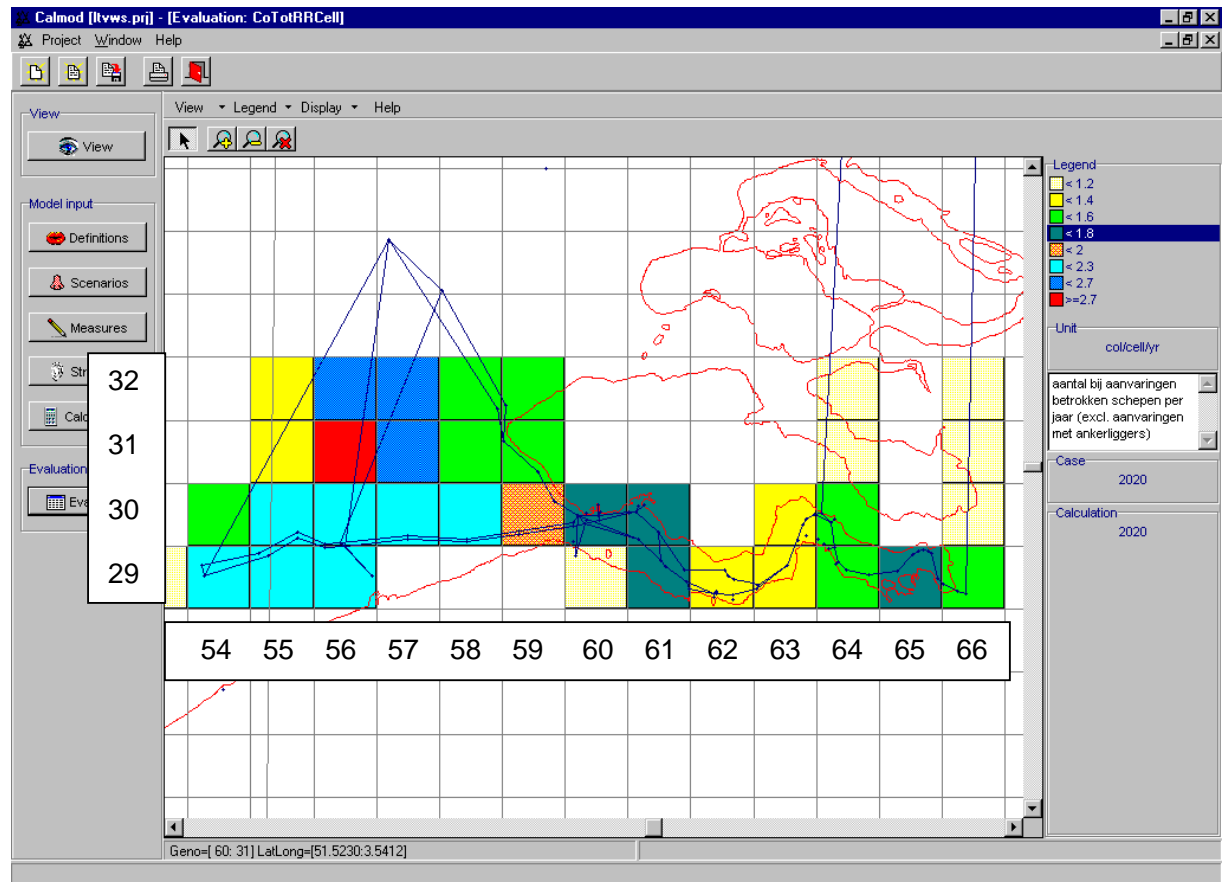
gemiddelde DWT	856	1549	2439	7226	25845	64948	139358	283014	
Totaal * DWT	51360	834911	2607291	22060978	26568660	26498784	0	0	78621984

2020

groeifactoren 2020	0.7	0.8	1	1.25	1.5	1.8	2	3	
aantal excl container	42	431	1069	3816	1542	734	0	0	7635
aantal * gem. DWT	35952	667929	2607291	27576223	39852990	47697811	0	0	118438196

Controle groei exclusief containers

	1998	2020	groeifactor
Aantallen [4.1] Gent	3090	3831	1.24
Terneuzen	2053	2545	1.24
aantallen berekend	6157	7635	1.24
overslag [4.1] Gent	7660	9360	1.22
Terneuzen	5310	6480	1.22
DWT berekend	12770	15513	1.21



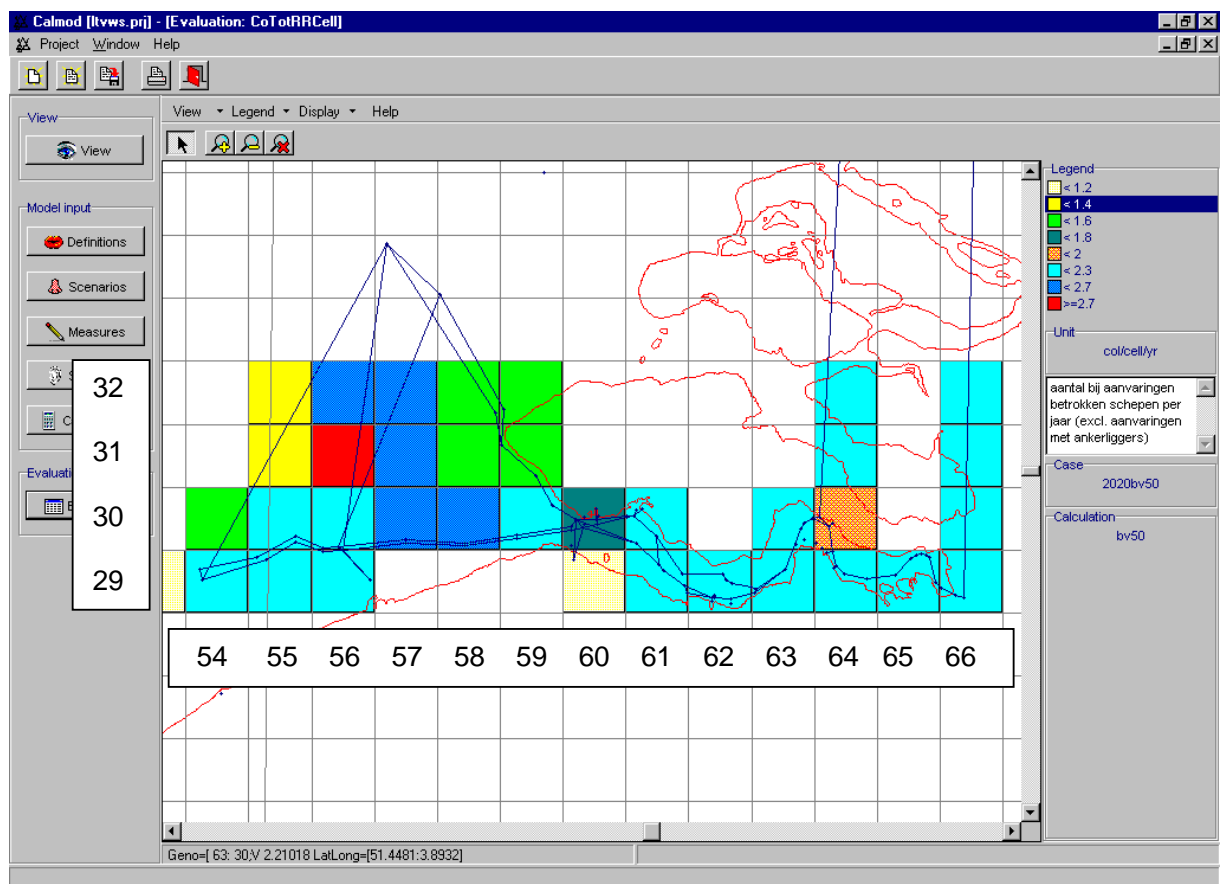
Figuur 9.4 Verandering van het aantal bij aanvaringen betrokken schepen voor 2020 ten opzichte van het basisjaar 1998

In figuur 9.4 is de verandering van het aantal ongevallen ten opzichte van het basisjaar te zien. De veranderingen zijn groot in de echte zeevaartgebieden en het kleinst op het traject waar de meeste binnenvaart zit. Verder is de toename in de Wielingen veel groter dan in het Oostgat omdat het aantal grotere schepen toeneemt terwijl het aantal kleine schepen afneemt.

Voor dit scenario worden 23.57 bij aanvaringen betrokken schepen per jaar verwacht. Dit is een toename van 56% ten opzichte van het aantal in het basisjaar.

Stap 7 Modelleren van de verkeersafwikkeling en berekening van het aantal ongevallen voor een verkeersscenario gebaseerd op de prognoses voor 2020 waarbij nog steeds gebruik wordt gemaakt van de nevengeulen en waarbij het aantal binnenvaartbewegingen groeit met 50%

Gezien de onzekerheid over de groei van de binnenvaart is ook het scenario voor 2020 uitgerekend voor een groei van de binnenvaart met 50%. Deze groei lijkt realistischer, want een groei van 24% in het aantal scheepsbewegingen en een groei van de gemiddelde overslag van 20% geeft toch een totale groei in de overslag van 50%, welke toch af- of aangevoerd moet worden. De overgang van het gewone scenario voor 2020 naar dit scenario is dus gelijk aan de overgang van het basisjaar naar het groeiscenario voor de binnenvaart van 50%.



Figuur 9.5 *Verandering van het aantal bij aanvaringen betrokken schepen in 2020 ten opzichte van het basisjaar 1998 bij een 50% toename van het binnenvaartverkeer*

Voor dit scenario worden 31.66 bij aanvaringen betrokken schepen per jaar verwacht. Dit is een toename van 109% ten opzichte van het basisjaar 1998.

9.4 Overzichtstabellen

Bij aanvaring betrokken schepen

Het resultaat van alle scenario's is in tabel 9.7 bij elkaar gezet. De tabel bevat vijf kolomgroepen. De eerste groep geeft de gridcel aan met onder traject een indicatie van welk traject door de gridcel gaat. De tweede kolomgroep bevat de afgelegde vaartuigkilometers in de gridcel voor het basisjaar 1998 en de vier scenario's. In de vierde kolomgroep is het aantal vaartuigkilometers in de gridcel afgelegd, gedeeld door dat van het basisjaar. Dit geeft de toename, door middel van een factor ten opzichte van het basisjaar. Duidelijk is dat de verschillende scenario's tot verschillende groeifactoren leiden. Soms is het effect maar zeer lokaal, zoals bij het sluiten van de nevengeulen.

De tweede kolomgroep geeft de absolute ongevalskans² per miljoen vaartuigkilometer in de bijbehorende gridcel. In de vierde kolomgroep zijn deze ongevalskansen relatief ten opzichte van het basisjaar gegeven om de toename in de ongevalskans zichtbaar te maken.

Het aantal ongevallen voor een gridcel is het product van ongevalskans maal afgelegde kilometer. Dit totaal per gridcel (niet weergegeven) gesommeerd over alle gridcellen levert het totaal aantal verwachte schepen bij aanvaringen betrokken. Voor het basisjaar 1998 is dit 15.1. Bij het sluiten van de nevengeulen stijgt dit aantal naar 16.0.

Bij een toename van de binnenvaart stijgt het aantal schepen betrokken bij aanvaringen naar een gemiddelde van 21.8 per jaar. De stijging in ongevalskans treedt vooral op in de gridcellen met relatief veel binnenvaart.

Voor scenario 2020 zonder groei van de binnenvaart stijgt het aantal bij aanvaringen betrokken schepen naar 23.57. Aan deze groei wordt vooral bijgedragen door de cellen met relatief veel zeevaart.

Het laatste scenario 2020 met een groei van 50% voor de binnenvaart levert een gemiddelde van 31.7 bij aanvaring betrokken schepen. Bijna alle gridcellen in het Schelde-estuarium geven hetzelfde groeibeeld, namelijk rond een factor 1.4 voor de groei in kilometers (toename intensiteit) en rond een factor 1.5 voor de toename in de ongevalskans, dus een factor $1.4 \times 1.5 = 2.1$ voor het aantal bij aanvaringen betrokken schepen.

Eenzelfde tabel als tabel 9.7 maar dan specifiek voor de gastankers is geleverd aan AVIV voor de studie naar de ligging van de risicocontouren in het Schelde-estuarium.

² De kans kan hier groter dan 1 zijn omdat het uitgedrukt wordt in aantal aanvaringen per miljoen vaartuigkilometer.

locatie			aantal afgelegde vaartuigkilometers voor de doorerekende scenario's					aantal bij aanvaringen betrokken schepen per miljoen vaartuigkilometer					relatief: aantal afgelegde vaartuigkilometers tov van basisjaar 1998				relatief: aantal bij aanvaringen betrokken schepen per miljoen vaartuigkm. tov basisjaar 1998			
gridcel		Traject	1998	1998	1998	2020	2020	1998	1998	1998	2020	2020	1998	1998	2020	2020	1998	1998	2020	2020
i	j			zonder nevengeul	binnen vaart 50% toename		binnen vaart 50% toename		zonder nevengeul	Binnen vaart 50% toename		binnen vaart 50% toename	zonder nevengeul	binnen vaart 50% toename		binnen vaart 50% toename	zonder nevengeul	Binnen vaart 50% toename		binnen vaart 50% toename
54	29	A1	278726	278726	279467	402810	403551	0.71	0.71	0.71	1.12	1.12	1.00	1.00	1.45	1.45	1.00	1.00	1.58	1.58
54	30		835	835	835	969	969	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.16	1.16	1.00	1.00	1.27	1.27
55	29	Sch2	152123	152123	152420	219832	220203	0.44	0.44	0.44	0.69	0.69	1.00	1.00	1.45	1.45	1.00	1.00	1.58	1.58
55	30	Sch1	202609	202609	202979	292801	293357	0.42	0.42	0.42	0.66	0.66	1.00	1.00	1.45	1.45	1.00	1.00	1.58	1.58
55	31		967	967	967	1122	1122	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.16	1.16	1.00	1.00	1.14	1.14
55	32		658	658	658	764	764	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.16	1.16	1.00	1.00	1.14	1.14
56	29	Zeebrugge	168495	168495	170384	235945	237797	0.26	0.26	0.26	0.39	0.39	1.00	1.01	1.40	1.41	1.00	1.01	1.53	1.54
56	30	Sch.zand	242982	242982	245575	349287	352065	1.31	1.31	1.33	1.97	1.98	1.00	1.01	1.44	1.45	1.00	1.01	1.50	1.51
56	31		3517	3517	3517	5847	5847	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.66	1.66	1.00	1.00	1.64	1.64
56	32		2334	2334	2334	3884	3884	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.66	1.66	1.00	1.00	1.56	1.56
57	30	Sch10	248909	248909	252428	356325	360029	0.81	0.81	0.82	1.28	1.29	1.00	1.01	1.43	1.45	1.00	1.01	1.59	1.60
57	31		1708	1708	1708	2659	2659	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.56	1.56	1.00	1.00	1.72	1.72
57	32		3197	3197	3197	4978	4978	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.56	1.56	1.00	1.00	1.67	1.67
58	30	W4	249650	249650	253168	357436	360955	0.80	0.80	0.82	1.28	1.29	1.00	1.01	1.43	1.45	1.00	1.01	1.59	1.61
58	31		20891	20891	20946	25539	25595	0.44	0.44	0.44	0.54	0.54	1.00	1.00	1.22	1.23	1.00	1.00	1.23	1.23
58	32	OG13	165087	165087	165921	201683	202609	0.14	0.14	0.14	0.18	0.18	1.00	1.01	1.22	1.23	1.00	1.00	1.23	1.23
59	30	W9, OG14	343176	343176	347250	471890	475964	0.94	0.94	0.95	1.35	1.37	1.00	1.01	1.38	1.39	1.00	1.01	1.45	1.46
59	31	OG11	200201	200201	201312	244649	245760	0.78	0.78	0.79	0.96	0.96	1.00	1.01	1.22	1.23	1.00	1.01	1.23	1.23
59	32	OG GR	31040	31040	31299	37910	38170	0.20	0.20	0.20	0.24	0.24	1.00	1.01	1.22	1.23	1.00	1.01	1.23	1.24
60	29		26910	26910	27243	26854	27169	0.44	0.44	0.45	0.44	0.45	1.00	1.01	1.00	1.01	1.00	1.02	1.00	1.02
60	30	Vlissingen	604678	603567	616160	758579	770062	1.85	1.85	1.89	2.37	2.41	1.00	1.02	1.25	1.27	1.00	1.02	1.28	1.30
61	29	Sloeh-Tern	419108	432442	481705	518004	580602	2.32	2.93	2.60	3.22	3.52	1.03	1.15	1.24	1.39	1.26	1.12	1.38	1.51
61	30	Sloehaven	416700	432998	484113	522079	589492	3.36	3.82	3.88	4.56	5.12	1.04	1.16	1.25	1.41	1.14	1.15	1.36	1.52
62	29	Terneuzen	702093	700056	893405	811176	1002673	2.73	3.15	3.49	3.27	4.05	1.00	1.27	1.16	1.43	1.16	1.28	1.20	1.48
63	29	Tern-Hansw	706168	707649	926000	799323	1019156	3.58	3.61	4.64	4.33	5.43	1.00	1.31	1.13	1.44	1.01	1.30	1.21	1.52
63	30	Tern-Hansw	465778	465778	610604	527450	672276	3.25	3.25	4.16	4.01	4.97	1.00	1.31	1.13	1.44	1.00	1.28	1.23	1.53

locatie			aantal afgelegde vaartuigkilometers voor de doorerekende scenario's					aantal bij aanvaringen betrokken schepen per miljoen vaartuigkilometer					relatief: aantal afgelegde vaartuigkilometers tov van basisjaar 1998				relatief: aantal bij aanvaringen betrokken schepen per miljoen vaartuigkm. tov basisjaar 1998			
gridcel		Traject	1998	1998	1998	2020	2020	1998	1998	1998	2020	2020	1998	1998	2020	2020	1998	1998	2020	2020
i	j			zonder nevengeul	binnen vaart 50% toename		binnen vaart 50% toename		zonder nevengeul	Binnen vaart 50% toename		binnen vaart 50% toename	zonder nevengeul	binnen vaart 50% toename		binnen vaart 50% toename	zonder nevengeul	Binnen vaart 50% toename		binnen vaart 50% toename
64	29	Zuidergat	439109	439109	521894	532820	615605	2.68	2.68	3.13	3.41	3.87	1.00	1.19	1.21	1.40	1.00	1.17	1.27	1.44
64	30	Hansw	427812	427812	519486	488928	580787	2.80	2.80	3.33	3.47	4.01	1.00	1.21	1.14	1.36	1.00	1.19	1.24	1.43
64	31	Kan.d. Z-Beve	106675	106675	159124	106101	158550	0.03	0.03	0.05	0.03	0.05	1.00	1.49	0.99	1.49	1.00	1.48	0.99	1.48
64	32	Kan.d. Z-Beve	106675	106675	159124	106101	158550	0.03	0.03	0.05	0.03	0.05	1.00	1.49	0.99	1.49	1.00	1.48	0.99	1.48
65	29	Hans-Antw	638384	638384	764320	781544	907480	2.43	2.43	2.88	3.23	3.71	1.00	1.20	1.22	1.42	1.00	1.19	1.33	1.53
66	29	Tot Zandvliet	240390	240390	306691	280022	346324	1.24	1.24	1.50	1.66	1.95	1.00	1.28	1.16	1.44	1.00	1.22	1.34	1.58
66	30	Schelde Rijnk.	83433	83433	125010	83359	124936	0.02	0.02	0.04	0.02	0.04	1.00	1.50	1.00	1.50	1.00	1.50	1.00	1.50
66	31	Schelde Rijnk.	83433	83433	125010	83359	124936	0.02	0.02	0.04	0.02	0.04	1.00	1.50	1.00	1.50	1.00	1.50	1.00	1.50
66	32	Schelde Rijnk.	83433	83433	125010	83359	124917	0.02	0.02	0.04	0.02	0.04	1.00	1.50	1.00	1.50	1.00	1.50	1.00	1.50
Totaal			7867880	7895845	9181263	9725388	11039790	1.92	2.02	2.37	2.42	2.87	1.00	1.17	1.24	1.40	1.05	1.23	1.26	1.49
Schepen in aanvaanvaring / jaar								15.12	15.99	21.77	23.57	31.66					1.06	1.44	1.56	2.09

Tabel 9.7 **Overzicht van de kans om betrokken te raken bij een aanvaring per miljoen vaartuigkilometer**

Aanvaringen met ankerliggers door doorgaande vaart

Voor alle scenario's is ook het aantal keren bepaald dat een schip dat in een ankergebied voor anker ligt aangevaren wordt door een passerend vaartuig. Het resultaat staat in tabel 9.8 en 9.9. Tabel 9.8 bevat het absolute aantal aanvaringen en in tabel 9.9 is de groeifactor ten opzichte van het basisjaar 1998 weergegeven.

De relatieve toename in het aantal aanvaringen met ankerliggers is minder groot dan de groei in het aantal aanvaringen tussen varende schepen. De belangrijkste reden is dat de gemiddelde bezetting van de ankergebieden, die voor alle ankergebieden constant gehouden is. Voor de scenario's van 2020 is dat waarschijnlijk niet correct. Bij een groter verkeersaanbod is ook een toename van de bezetting van de ankergebieden te verwachten. De verandering is moeilijk aan te geven omdat de bezettingsgraad van de ankergebieden ook door middel van maatregelen te beïnvloeden is. Zo heeft men in de laatste jaren door maatregelen het aantal ankerliggers in het ankergebied bij Vlissingen weten te reduceren. De huidige bezettingsgraad van gemiddeld 3.05 schip (bron SRK 1998) is beduidend lager dan het aantal waarmee in voorgaande studies is gerekend. Het effect van een verandering in de bezettingsgraad op het aantal aanvaringen van ankerliggers door de doorgaande vaart kan gemakkelijk worden nagegaan omdat het aantal aanvaringen recht evenredig is met deze bezettingsgraad.

Het scenario waarbij de nevengeulen worden gesloten leidt tot een minder aantal aanvaringen met ankerliggers. Dit positieve effect komt door het feit dat de nevengeul Schaar van Spijkerplaat zeer dicht langs het ankergebied Vlissingen loopt en de nevengeul in de Everingen natuurlijk dicht langs de ankergebieden in de Everingen. Dit laatste is vertekend omdat de ankerliggers die in de ankergebieden in de Everingen liggen (gemiddeld 0.36) bij het sluiten van de Everingen elders een plek moeten zoeken, waar ze duidelijk meer kans lopen om geraakt te worden. Bij een evenredige verdeling over de andere ankergebieden wordt het aantal aanvaringen voor deze groep dan $0.36 \cdot (2.53 - 0.01) / (4.44 - 0.36) = 0.22$, dus duidelijk hoger dan de 0.01 voor de ankergebieden in de Everingen.

ankergebied	gemiddeld aantal ankerliggers	verwacht aantal rammers per jaar in basisjaar 1998	verwacht aantal rammers per jaar voor scenario zonder nevengeulen	verwacht aantal rammers per jaar bij groei binnenvaart met 50%	verwacht aantal rammers per jaar in 2020	verwacht aantal rammers per jaar in 2020 bij 50% groei binnenvaart
Wielingen_Z	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03
Wielingen_NW	0.19	0.11	0.11	0.11	0.17	0.17
Wielingen_NO	0.19	0.17	0.17	0.17	0.25	0.25
Vlissingen	3.05	1.51	1.38	1.52	2.00	2.01
Springergeul	0.17	0.14	0.15	0.15	0.19	0.20
Everingen_ABC	0.20	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
Everingen_DE	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hansweert	0.25	0.20	0.20	0.23	0.27	0.30
Put v.	0.20	0.37	0.39	0.43	0.47	0.54
Terneuzen_AB						
Totaal	4.44	2.53	2.43	2.63	3.40	3.51

Tabel 9.8**Overzicht van het aantal keren dat een ankerligger wordt aangevaren door een passerend schip**

Ankergebied	gemiddeld aantal ankerliggers	verwacht aantal rammers per jaar in basisjaar 1998	relatief ten opzichte van basisjaar 1998			
			verwacht aantal rammers per jaar voor scenario zonder nevengeulen	verwacht aantal rammers per jaar bij groei binnenvaart met 50%	verwacht aantal rammers per jaar in 2020	verwacht aantal rammers per jaar in 2020 bij 50% groei binnenvaart
Wielingen_Z	0.03	0.02	1.00	1.00	1.42	1.43
Wielingen_NW	0.19	0.11	1.00	1.00	1.58	1.59
Wielingen_NO	0.19	0.17	1.00	1.00	1.48	1.48
Vlissingen	3.05	1.51	0.92	1.01	1.33	1.34
Springergeul	0.17	0.14	1.07	1.05	1.40	1.45
Everingen_ABC	0.20	0.01	0.40	1.21	1.28	1.48
Everingen_DE	0.16	0.00	0.46	1.14	1.40	1.54
Hansweert	0.25	0.20	1.00	1.14	1.30	1.44
Put v. Terneuzen_AB	0.20	0.37	1.07	1.17	1.29	1.46
Totaal	4.44	2.53	0.96	1.04	1.35	1.39

Tabel 9.9 **Overzicht van het aantal keren dat een ankerligger wordt aangevaren door een passerend schip t.o.v. 1998**

9.5 Verkeersmaatregelen

De modelberekeningen zijn uitgevoerd voor een constant gehouden ongevalskans. Sommige maatregelen hebben geen invloed op de ongevalskans maar zorgen wel voor een reductie in het aantal aanvaringen. Voorbeelden hiervan zijn het scheiden van het verkeer en het begeleiden van het verkeer. Beide zorgen ervoor dat het aantal situaties waaruit een ongeval kan ontstaan vermindert. Onder een gelijk blijvende ongevalskans neemt dan het aantal ongevallen af. De ongevalskans neemt zelfs af wanneer de bemanning van het schip sneller en/of beter geïnformeerd wordt over een naderende potentieel gevaarlijke situatie (door apparatuur of door waarschuwingen van de verkeersbegeleiding), waardoor sneller en adequater kan worden gereageerd. Deze veranderingen, dus betere apparatuur, betere begeleiding en betere bemanning leiden ook tot vermindering van het aantal ongevallen.

De verwachting is dan ook dat het aantal ongevallen en de gepresenteerde ongevalsfrequenties voor 2020 een bovengrens aangeven.

9.6 Samenvatting van alle resultaten en conclusies van de veiligheidsstudie

De resultaten van de uitgevoerde berekeningen naar het aantal ongevallen in het Schelde-estuarium zijn samengevat in onderstaande tabel.

Scenario	bij aanvaring betrokken schepen per jaar	aantal keren dat een passerend schip een ankerligger aanvaart
Basis: verkeersbeeld 1998	15.12	2.53
Verkeersaanbod van 1998 bij het sluiten van de nevengeulen	15.99	2.43
Zeevaart volgens 1998, maar met een groei van de binnenvaart met 50%	21.77	2.63
2020: zeevaart volgens "optimistische prognose" van PRC met binnenvaart van 1998	23.57	3.40
2020: zeevaart volgens "optimistische prognose" van PRC met een groei van de binnenvaart met 50% tov 1998	31.66	3.51

Tabel 9.10 Resultaten van alle scenario's

De berekeningen van het aantal ongevallen zijn uitgevoerd onder de volgende aannames:

- Het gemiddelde aantal ankerliggers per ankergebied blijft bij alle berekeningen gelijk aan het aantal dat voor 1998 uit de SRK gegevens is bepaald.
- Er wordt gerekend met een ongewijzigde ongevalskans per gevaarlijke situatie.
- Het scenario voor 2020 is gebaseerd op het meest optimistische groeiscenario dat is aangegeven door Policy Research Corporation [4.1].

Uit de berekeningen kan het volgende worden geconcludeerd:

- Het aantal bij aanvaringen betrokken schepen neemt voor het meest verkeersintensieve scenario van 2020 toe van 15.12 in het basisjaar 1998 tot 31.66 in 2020.
- Het aantal ongevallen kan worden gereduceerd door middel van verkeerstechnische maatregelen die voor een betere verkeersafwikkeling zorgen en zo voor minder ongevallen kunnen zorgen.
- Betere opleiding kan er toe leiden dat de ongevalskans per gevaarlijke ontmoeting afneemt.
- Betere en nieuwe navigatiehulpmiddelen kunnen ook leiden tot een afnemende ongevalskans. Een voorbeeld hiervan is de AIS (Automatic Identification System) welke langzamerhand wordt ingevoerd en naar verwachting in 2020 volledig zal zijn ingevoerd. De verwachting is dat deze AIS met nieuwe daarvan gebruikmakende systemen, een trendbreuk kan opleveren in het aantal ongevallen dat optreedt.
- Policy Research Corporation heeft ook de havenaanlopen voor een "pessimistisch" en een "middelmatig" groeiscenario gegeven. Het effect van het groeiscenario is niet voor iedere haven binnen de regio gelijk. Voor de grootste haven, Antwerpen, ligt het pessimistische scenario op 70% van het optimistische groeiscenario en het realistische groeiscenario op 96% van het optimistische scenario. Wanneer deze veranderingen representatief worden geacht voor de gehele regio, dan ligt het aantal bij aanvaringen betrokken schepen in 2020 voor het realistische groeiscenario 8% lager dan nu is voorspeld. Bij een pessimistische groeiscenario

neemt het aantal bewegingen met 30% af en daarmee zal het aantal ongevallen 51% lager liggen dan nu is voorspeld.

- In een ankergebied in de Everingen kan het lichteren veel veiliger plaatsvinden dan in de Put van Terneuzen.

10 SAMENVATTING EN CONCLUSIES

10.1 Samenvatting

In het kader van de langetermijnvisie voor het Schelde-estuarium met betrekking tot de toegankelijkheid en veiligheid is er een studie uitgevoerd naar de ontwikkeling van de scheepvaart in relatie tot de geulafmetingen in de periode tot 2030.

Dit onderzoek richt zich op de volgende vragen (zie ook de vraagstelling van 4 februari 2000):

1. Wat is de verwachte ontwikkeling van diverse scheepstypen in de periode tot 2030?
2. Welke eisen stellen deze schepen aan de afmetingen van de vaarwegen?
3. Welke eisen stellen de onder 1 bedoelde scheepstypen aan de (hoofd)vaarweg vanaf de zee (loodskruispost Wandelaar) tot en met de Rede van Antwerpen en de overige Nederlandse en Vlaamse Scheldehavens (vice versa), in termen van breedte, diepte, bochtstralen, etc.?
4. Is getijonafhankelijke vaart met een diepgang van 14 meter mogelijk en zo ja, onder welke voorwaarden?
5. Is getijgebonden vaart met een diepgang van 16,20 meter mogelijk en zo ja, onder welke voorwaarden?
6. Wat zijn de mogelijkheden (en restricties) met betrekking tot het lichten van zeeschepen?
7. Wat voor een invloed heeft de toename van het verkeer op het aantal ongevallen?

Om op deze onderzoeksvragen een antwoord te kunnen geven is een onderzoek uitgevoerd dat bestaat uit de volgende delen:

- Voorspelling van de wereldvloot voor de periode tot 2010 en tot 2030.
- Onderzoek naar de minimaal benodigde geulafmetingen voor diverse scheepstypen.
- Een evaluatie van de consequenties en mogelijkheden van baggeren en navigatie ondersteunende maatregelen.
- Evaluatie van de rol van de binnenvaart;
- Het aspect van lichten op de vaarweg;
- De veiligheid van de scheepvaart.

Voorspelling wereldvloot

Uitgangspunt is de samenstelling van de wereldvloot volgens Lloyds in 1998. Voorspellingen voor diverse scheepsklassen worden gemaakt met behulp van voorspellingen van het aantal nieuw te bouwen schepen in de periode 1999 tot 2008/2010 (Drewry). Hiermee is het mogelijk een vergelijk maken van de vloot samenstelling nu en in 2010. Voor een extrapolatie naar 2020 en 2030 wordt aanvullende literatuur gebruikt. Hierbij richten we ons op de ontwikkeling van het grootste schip en niet op de samenstelling van de wereldvloot.

Minimaal benodigde geulafmetingen

Voor dit onderdeel is een karakterisering uitgevoerd van het Schelde-estuarium vanaf geuldeel 1 tot en met de Zandvliet sluizen. Deze karakterisering resulteert in een overzicht van de huidige geulafmetingen en in maatgevende stroom en een maatgevende wind per geuldeel.

Met deze karakterisering zijn geuldimensioneringsberekeningen uitgevoerd volgens de PIANC-methode en volgens onze eigen MSCN-methode. Daarbij is gekeken naar een aantal maatgevende scheepstypen en naar de mogelijke invloed van navigatie ondersteunende maatregelen, bijvoorbeeld de introductie van een elektronisch navigatiehulpmiddel om de loods te assisteren en gedetailleerde passageplanning.

Consequenties van baggeren en navigatie ondersteunende maatregelen

In dit deel is gekeken naar het verwachte aantal schepen en met name het verwachte aantal ontmoetingen op het traject Hansweert-Antwerpen. Bekeken is hoe met maatregelen de wachttijd kan worden beïnvloed.

Rol van de binnenvaart

Er is globaal gekeken naar de interacties binnenvaart zeevaart en de mogelijke consequenties.

Lichten van schepen

Op dit moment worden er schepen gelicht in de vaargeul. De vraag is of dit in de toekomst uitgebreid zou kunnen worden. Gekeken wordt naar de consequenties ten aanzien van ruimtegebruik, hydrodynamische interactie en risico.

Veiligheid

Het aantal ongevallen dat plaatsvindt in een gebied is een belangrijke indicator voor de veiligheid in dat gebied. Door het toenemen van het aantal schepen, veranderingen van de scheepsafmetingen en een eventueel ander gebruik van de hoofd- en nevengeulen zal het aantal ongevallen in het Schelde-estuarium veranderen. Om inzicht te krijgen in deze veranderingen zijn berekeningen uitgevoerd met het MANS-model (Management Analysis North Sea). Berekeningen zijn uitgevoerd voor de situatie in 1998 en een aantal aangepaste scenario's voor 1998 en 2020. Deze scenario's hebben betrekking op verkeersaantallen en het gebruik van de hoofd- en nevengeulen.

10.2 Conclusies

Voorspelling wereldvloot

1. Maatgevende schepen voor het Schelde-estuarium zijn met name de grote bulkschepen, tankers en containerschepen. Van deze drie klassen wordt alleen van de containerschepen verwacht dat er significante veranderingen in de scheepsgrootte zullen optreden tussen nu en 2030.
2. De verwachting is dat de containerschepen zullen doorgroeien en dat rond 2012 het grootste containerschip 12000 TEU zal zijn. Dit schip wordt ook wel het Suezmax containerschip genoemd. Dit schip heeft de volgende afmetingen: 400x50x17 meter.
3. Als de containerschepen nog verder groeien neemt de mogelijkheid om beschikbare bestaande havenfaciliteiten (wereldwijd) te gebruiken sterk af. Bouw en aanpassingen van faciliteiten voor schepen met dit soort afmetingen is kostbaar. Het ligt dan meer voor de hand dat dit soort grote schepen op een vaste route gaan varen. Voor 2020/2030 resulteert dit in een 15000 tot 18000 TEU schip als grootste schip (400x60x21 of 400x69x14). Gezien zijn afmetingen is het waarschijnlijk dat zo'n schip tussen bijvoorbeeld Rotterdam en Singapore gaat varen en geen andere havens meer aan doet. Voor Antwerpen wordt bovengenoemde Suezmax als maatgevend schip gezien tot 2020/2030.

Verkeer

4. Het is de verwachting dat de verkeersintensiteit de komende twintig jaar sterk zal groeien. Dit wordt gedemonstreerd in de onderstaande tabel.

	dwt	Lengte	Aantallen	Lengte	Aantallen
	[ton]	[m]	1998	[m]	2020
			[-]		[-]
Tanker	155.000	280	17	280	34
Bulkcarrier	150.000	280	81	280	162
Containerschip	110.000 +	347	2	380	49
Containerschip	90.000	320	7	320	612
Tanker	90.000	235	99	235	168
Bulkcarrier	85.000	231	137	231	233
Containerschip	50.000	260	990	260	2178
Totaal:			1333		3436

In deze tabel staan de zeven klassen met de grootste schepen. Naast de grootte van de schepen worden de aantallen schepen gepresenteerd die Antwerpen bezochten in 1998 en de prognoses voor 2020. De prognose is gebaseerd op het onderzoek van Policy Research Corporation [4.1]. Het totaal aantal schepen, met de onderverdeling in grootte klassen, wordt gegeven op blz. 46-48. Deze tabel laat zien dat het aantal grote schepen sterk toeneemt. Verder laat het zien dat de belangrijkste toename veroorzaakt wordt door de groei in het containertransport. Ook laat deze tabel de schaalvergroting zien. Het grootste schip dat in 1998 Antwerpen bezocht was een containerschip met een lengte van 347 meter. In 2020 is het gemiddelde schip in de 110,000 dwt+ klasse gegroeid naar 380 meter lengte. Het allergrootste schip in deze klasse is een Suezmax van 400 meter lengte. Opgemerkt moet worden dat deze schepen alleen gedeeltelijk beladen Antwerpen kunnen bezoeken.

Verticale geulafmetingen

5. In dit onderzoek wordt gekeken naar twee verdiepingsscenario's. De eerste gaat uit van tijongebonden vaart met een diepgang van 14 meter. Hiermee wordt de diepte in het zeetraject 16.1 meter (netto 15% kielspeling) en het riviertraject 15.75 meter (netto 12.5% kielspeling) en vanaf de bocht van Bath 15.4 meter (netto 10% kielspeling).

Het tweede scenario gaat uit van een tijgebonden opvaart met een maximale diepgang van 16.2 meter. In het zeetraject dient er 18.65 meter water te staan voor een veilige opvaart, 18.25 meter in het riviertraject en 17.82 meter vanaf de bocht van Bath. De baggerdiepten hangen af van de gehanteerde tijpoorten en van de kielspelingpercentages.

Horizontale Geulafmetingen

6. De minimaal benodigde geulafmetingen zijn bepaald volgens de PIANC-methode. De resultaten van deze methode kunnen worden vertaald in benodigde padbreedte voor verschillende schepen. De resultaten worden samengevat voor het zeetraject (geul 1 tot en met Vlissingen), de bocht Honte (voor de Sloehaven) en de verschillende breedtes in het riviertraject. Verder wordt het resultaat gegeven voor een scherpe bocht in de binnengeul (riviertraject), representatief voor de bocht bij Bath. De PIANC-methode heeft een relatief kleine toeslag voor bochten. De resultaten voor de andere bochten in het traject zijn praktisch gelijk.

De resultaten worden samengevat in de volgende tabel.

Geuldeel	Breedte	Containerschip		Containerschip		Containerschip		Bulkcarrier	
		L = 320 B = 42.5		L = 360 B = 45.5		L = 400 B = 50.0		L = 300 B = 45.0	
		Enkel	Dubbel	Enkel	Dubbel	Enkel	Dubbel	Enkel	Dubbel
Zeetraject	500	191	429	205	460	225	505	227	504
Bocht Honte	520	196	438	209	469	230	515	232	513
Riviertraject (recht)	500	183	400	196	428	215	470	216	468
	370	183	400	196	428	215	470	216	468
	300	183	400	196	428	215	470	216	468
Bocht Bath	300	189	412	202	441	223	485	234	486

In deze tabel geven de grijze vlakken aan dat de benodigde breedte groter is dan de beschikbare breedte.

Volgens deze methode is de toegangsgedul maar net breed genoeg of net te smal om grote schepen te ontvangen (tweestrooks verkeer). De bocht Honte is wel breed genoeg.

In het binnengedeelte is het deel met 500 meter breedte, breed genoeg voor tweestrooks verkeer. De andere delen zijn te smal voor tweestrooks verkeer. Voor de bochten in het riviertraject is alleen de bocht bij Bath opgenomen. Voor de andere bochten in dit deel van de geul zullen de resultaten slechts marginaal verschillend zijn (minder dan 10 meter).

- Dezelfde berekeningen zijn gemaakt, gebruik makend van de MSCN-methode. In deze methode ligt de nadruk op de bijdragen die het navigeren door de geul bepalen. Voor de toegangsgedul (zeetraject) is dit met name de nauwkeurigheid van de positie-schatting, in het binnendeel (riviertraject) is dit met name de positievariatie tijdens het bochtvaren.

De methode resulteert in een padbreedte die afhangt van scheepslengte, scheepsbreedte en geulbreedte. Op dezelfde manier als boven worden in de tabel op de volgende pagina de resultaten samengevat.

Geuldeel	Breedte	Containerschip		Containerschip		Containerschip		Bulkcarrier	
		L = 320 B = 42.50 6500 TEU		L = 360 B = 45.50 9000 TEU		L = 400 B = 50.00 12000 TEU		L = 300 B = 45 150,000 dwt	
		Enkel	Dubbel	Enkel	Dubbel	Enkel	Dubbel	Enkel	Dubbel
Zeetraject	500	209	400	220	427	234	462	242	470
Bocht Honte	520	283	480	301	516	323	561	319	553
Riviertraject (recht)	500	196	381	208	409	224	445	232	456
	370	186	371	199	399	215	436	222	446
	300	181	366	194	394	210	430	217	441
Bochten Riviertraject									
Walsoorden	300	234	427	252	463	275	509	272	503
Nauw van Bath	300	283	484	306	527	336	583	322	561

Als beide methoden worden vergeleken, dan valt op dat de verschillen tussen de methoden niet erg groot zijn, maximaal in de orde van 25 meter. Uitzondering is de benodigde breedte in bochten. PIANC hanteert hiervoor alleen een toeslag op basis van de extra padbreedte in de bocht, dit is naar ons idee niet goed. Een veel belangrijker effect bij het varen van een bocht is de onzekerheid in de baan van het schip. Hiervoor wordt in de MSCN-methode gecorrigeerd.

Opgemerkt moet worden dat als een gevolg hiervan de bocht bij Bath als te smal wordt beschouwd voor grote bulkcarriers (enkelvoudige passage). Feitelijk wordt de geul nu al door deze schepen gebruikt, slechts gedeeltelijk geladen.

8. Uit beide methoden kan het volgende worden geconcludeerd:
De toegangsgeul is met 500 meter breed genoeg. De bocht Honte is wel te krap, grote schepen zullen hier enkelstrooks afgehandeld moeten worden.

De 500 meter segmenten in de binnengeul zijn voldoende breed. De bochten die 300 meter breed zijn, zijn veel te smal voor tweestrooks verkeer. Voor de bulkcarrier en het grootste containerschip worden ze ook als te smal beoordeeld voor enkelstrooks verkeer.

Kritiek voor een goede verkeersafhandeling is het geulsegment met een breedte van 370 meter. Hier kan het kleinste containerschip net niet tweestrooks doorheen varen.

9. Wordt er gewerkt met een elektronisch navigatiehulpmiddel dan worden de resultaten zoals in onderstaande tabel. Ook hier zijn de breedtes die de geulbreedte overschrijden grijs gemaakt.

Geuldeel	Breedte	Containerschip		Containerschip		Containerschip		Bulkcarrier	
		L = 320 B = 42.50 6500 TEU		L = 360 B = 45.50 9000 TEU		L = 400 B = 50.00 12000 TEU		L = 300 B = 45 150,000 dwt	
		Enkel	Dubbel	Enkel	Dubbel	Enkel	Dubbel	Enkel	Dubbel
Zeetraject	500	138	330	149	357	163	391	171	399
Bocht Honte	520	178	376	194	409	213	450	213	446
Riviertraject (recht)	500	158	343	170	371	186	407	194	418
	370	158	343	170	371	186	407	194	418
	300	158	343	170	371	186	407	194	418
Bochten Riviertraject									
Walsoorden	300	188	381	204	415	225	459	225	456
Nauw van Bath	300	217	418	237	458	262	509	253	492

De overgang tussen enkelstrooks en tweestrooks verkeer ligt nu duidelijk op het 370 meter segment, hier kan soms wel (container < 360 meter) en soms niet (container van 400 meter en de bulkcarrier) tweestrooks worden gevaren.

10. De boven gepresenteerde getallen kunnen worden vertaald in wachttijd. Het blijkt dat de 370 meter brede geuldelen cruciaal zijn in de passage Antwerpen-Hansweert. Deze 370 meter segmenten zijn de rechte delen tussen de bochten en een aantal flauwe bochten. De scherpe bochten, bij Bath en Walsoorden, hebben een breedte van 300 meter. Als deze rechte stukken tweestrooks kunnen worden gepasseerd dan kunnen er ontmoetingen worden uitgevoerd op vrijwel het hele

traject, behalve in de bochten, en wordt de wachttijd laag. Kan er niet tweestrooks worden gevaren in de rechte delen moet een van de twee schepen gemiddeld een uur wachten voordat hij mag gaan varen. Voor een schatting van de wachttijd worden ontmoetingen tussen de vijf grootste scheepsklassen beschouwd. De resultaten zijn als volgt:

		1998		2020	
		Passages 2666	Ontmoetingen 522	Passages 6872	Ontmoetingen 3403
Scenario		Vetraagd [-]	Percentage [%]	Vetraagd [-]	Percentage [%]
Zonder elektronisch hulpmiddel	PIANC	102	3.8	813	11.8
	MSCN	40	1.5	489	7.1
Met elektronisch hulpmiddel	MSCN	20	0.8	161	2.3

Passages: twee richtingen

Deze resultaten gaan uit van getijongebonden vaart. In 1998 zijn deze vaarten voor een groot deel getijgebonden uitgevoerd waardoor het ontmoetingspunt in veel gevallen ten westen van Hansweert heeft gelegen, hierdoor zal het feitelijk aantal ontmoetingen in het smalle deel veel lager zijn geweest. In 2020 zullen de meeste vaarten uit deze categorie wel degelijk getijongebonden worden uitgevoerd.

Het introduceren van een elektronisch navigatiehulpmiddel verbetert de situatie aanzienlijk. Het is moeilijk in te schatten of de 161 uur vertraging op jaarbasis een probleem is, of dat dit nog verder omlaag moet. Niet meegenomen in deze beschouwing is het mogelijk effect van een betere planning van op en afvaarten.

11. De resultaten die hier gepresenteerd zijn, gaan uit van geladen schepen. Het containerschip is redelijk ongevoelig voor variaties in waterdiepte (h/T). Dit schip is bij kleine kielspelingen ook nog voldoende goed manoeuvreerbaar. De hier opgenomen resultaten voor de containerschepen slaan terug op onderzoeksvraag 3. De geladen bulkcarrier kan representatief worden gesteld voor onderzoeksvraag 4. Echter, voor dit schip wordt dringend geadviseerd de kielspelingsnorm van minimaal 15% in het binnengebied te handhaven. Dit om ervoor te zorgen dat het schip voldoende manoeuvreerbaar is. De hier gepresenteerde resultaten zijn niet zomaar geldig voor grotere schepen met een kleinere diepgang.
12. Als er besloten wordt om geen elektronische hulpmiddelen te installeren dan is het noodzakelijk om de bochten in het riviertraject te verbreden, voor enkelstrooks passage. Het grootste hier meegenomen containerschip (Suezmax) maakt een verbreding in de bochten van minimaal 40 meter noodzakelijk. Als de rechte stukken verbreed worden tot meer dan 400 meter dan is de verwachte stremming in 2020 ongeveer 70 uur op jaarbasis.
13. Als men in het scenario met elektronische navigatiehulpmiddelen nog wil baggeren dan kan men alle geuldelen met een breedte van 370 meter verbreden tot 395 meter. Dit vermindert de stremming tot minder dan 20 uur per jaar.

Binnenvaart

14. Er is gekeken naar het ruimtebeslag van de binnenvaart op de vaarweg. In de meeste trajecten kan de binnenvaart de rand van de geul gebruiken. Hierdoor is het ruimtebeslag op de vaarweg gering en blijft er voldoende ruimte voor beide schepen (een groot zeeschip en een binnenvaartschip). Om een betere indruk te krijgen van interacties binnenvaart-zeevaart is ook gekeken naar de bezetting van de vaarweg. Die is het hoogst op het traject Terneuzen-Hansweert met in 2020 een gemiddelde afstand tussen zeeschepen van 9 kilometer en tussen binnenvaartschepen van 3 kilometer (deze getallen gelden voor een richting). Op het traject richting Antwerpen is de onderlinge afstand tussen zowel binnenvaart als zeevaart 9 kilometer. Deze gemiddelde getallen lijken geen probleem. Wil men in meer detail iets weten over de bezetting van de vaarweg dan dient men aanvullende simulaties te doen.
15. Problemen die mogelijk optreden tussen binnenvaart en zeevaart hebben te maken met de hydrodynamische interactie tussen schepen, hiermee wordt bedoeld de golfvorming door zeeschepen en eventueel zuiging. Of dit tot problemen leidt hangt af van de bouw van het binnenschip en de maatregelen die de schipper neemt om ongewenst vervullen te voorkomen. Dit is sterk afhankelijk van de situatie en het is moeilijk om hier in algemene termen iets over te zeggen.

Lichten

16. Het lichten van schepen in de vaargeul (Put van Terneuzen) betekent dat de vaargeul ter plaatse van het geankerde schip effectief versmalt. Verder moet men rekening houden met voldoende passeerafstand en een voldoende lage snelheid tijdens de passage van het geankerde schip om golfvorming en zuiging te beperken. Dit betekent effectief dat er een extra hindernis in de vaarweg ligt waarmee in het vaarschema van opvarende en afvarende schepen rekening gehouden moet worden. Dit is ongewenst als men ziet hoe sterk de aantallen schepen in de komende twintig jaar gaan groeien.

Daarnaast vormen ankerliggers in de vaargeul een risicofactor. Het zoveel mogelijk beperken van ankerliggers in de geul verhoogd de veiligheid van de scheepvaart.

Veiligheid

17. De resultaten van de uitgevoerde berekeningen naar het aantal ongevallen in het Schelde-estuarium zijn samengevat in onderstaande tabel.

Scenario	bij aanvaring betrokken schepen per jaar	aantal keren dat een passerend schip een ankerligger aanvaart
Basis: verkeersbeeld 1998	15.12	2.53
Verkeersaanbod van 1998 bij het sluiten van de nevengeulen	15.99	2.43
Zeevaart volgens 1998, maar met een groei van de binnenvaart met 50%	21.77	2.63
2020: zeevaart volgens "optimistische prognose" van PRC met binnenvaart van 1998	23.57	3.40
2020: zeevaart volgens "optimistische prognose" van PRC met een groei van de binnenvaart met 50% tov 1998	31.66	3.51

Uit deze berekeningen kan worden geconcludeerd dat het aantal bij aanvaringen betrokken schepen toeneemt van 15.12 in het basisjaar 1998 tot 31.66 in 2020. Dit voor het meest verkeersintensieve scenario in 2020.

18. Het aantal ongevallen kan worden gereduceerd door middel van verkeerstechnische maatregelen die voor een betere verkeersafwikkeling zorgen en zo voor minder ongevallen kunnen zorgen.
19. Betere opleiding kan er toe leiden dat de ongevalskans per gevaarlijke ontmoeting afneemt.
20. Betere en nieuwe navigatiehulpmiddelen kunnen ook leiden tot een afnemende ongevalskans. Een voorbeeld hiervan is de AIS (Automatic Identification System) welke langzamerhand wordt ingevoerd en naar verwachting in 2020 volledig zal zijn ingevoerd. De verwachting is dat deze AIS met nieuwe daarvan gebruikmakende systemen een trendbreuk kan opleveren in het aantal ongevallen dat optreedt.
21. Policy Research Corporation heeft ook het aantal scheepsbewegingen voor een "pessimistisch" en een "middelmatic" groeiscenario gegeven. Het effect van het groeiscenario is niet voor iedere haven binnen de regio gelijk. Voor de grootste haven Antwerpen ligt het pessimistische scenario op 70% van het optimistische groeiscenario en het realistische groeiscenario op 96% van het optimistische scenario. Wanneer deze veranderingen representatief worden geacht voor de gehele regio, dan ligt het aantal bij aanvaringen betrokken schepen in 2020 voor het realistische groeiscenario 8% lager dan nu is voorspeld. Bij een pessimistische groeiscenario neemt het aantal bewegingen met 30% af en daarmee zal het aantal ongevallen 51% lager liggen dan nu is voorspeld. Het aantal ongevallen kan worden berekend door de voorspelling gegeven onder conclusie 17 met 0.49 te vermenigvuldigen.

In een ankergebied in de Everingen kan het lichten veel veiliger plaatsvinden dan in de Put van Terneuzen.

10.3 Aanbevelingen

In dit onderzoek is er gekeken naar de verwachting van het scheepvaartverkeer in het Schelde-estuarium, de benodigde geulafmetingen en de ontwikkeling van de veiligheid. Er wordt geadviseerd om in de toekomst aan de volgende aspecten aandacht te geven:

1. De ontwikkeling van een elektronisch navigatiehulpmiddel. Er zijn veel ontwikkelingen gaande op dit gebied, zowel in het Schelde-estuarium als internationaal. Er wordt geadviseerd om deze ontwikkelingen te stimuleren en te controleren. Aandachtspunten daarbij zijn:
 - Eenduidigheid van kaartpresentatie en frequente actualisering van de gebruikte kaarten;
 - Gehanteerde projectie methoden van ontvangers en kaarten;
 - Ergonomie van het systeem;
 - Training en opleiding van de loodsen en eventuele andere gebruikers van het systeem.

Bij het ontwikkelen van een elektronisch navigatiehulpmiddel moet men zich niet beperken tot positieinformatie maar moet men ook kijken naar de mogelijkheden van transponders om andere schepen in de omgeving te presenteren. Deze techniek wordt in de komende jaren ingevoerd in de zeevaart (AIS). Verder wordt het mogelijk om met technieken de eigen baan van het schip te voorspellen.

2. In dit onderzoek is aangegeven dat met name de bochten en rechte delen in het Riviertraject tussen Hansweert en Antwerpen de grootste beperkingen opleveren voor de vaart. Aanbevolen wordt om tijdens de ontwikkeling van het elektronisch navigatiehulpmiddel simulator onderzoek uit te voeren, waarbij er twee doelstellingen zijn. Ten eerste nagaan welke informatie voor de loods van essentieel belang is en dus door het elektronisch navigatiehulpmiddel moet worden aangeboden. Ten tweede nagaan wat de minimaal benodigde breedte in bochten en rechte vaargeuldelen is bij de inzet van zo'n hulpmiddel.
3. Geadviseerd wordt om de mogelijkheid te onderzoeken om geulpassages, in verband met drempeldiepte, breedte van het vaarwater en scherpe bochten, verder vooruit te plannen waardoor ook ontmoetingen en plaatsen van ontmoeting vast komen te liggen. Zowel de loodsen als de verkeersbegeleiding zouden hierbij een rol moeten spelen. Ook andere partijen in de haven zouden bij zo'n ontwikkeling betrokken moeten worden omdat dit ingrijpt op het gehele logistieke proces.
4. De veiligheidsstudie heeft zich vooral gericht op de vraag in hoeverre het aantal ongevallen gaat veranderen op de langere termijn, om hiermee in de vervolgstudie uitgevoerd door AVIV, de veranderingen in het externe risico in termen van individueel risico en groepsrisico te kunnen bepalen. Een andere vorm van risico is het milieurisico, het risico dat ten gevolge van een ongeval een bunkertank of ladingtank lek raakt en er olie of chemicaliën in het Schelde-estuarium stroomt. Zo'n ongeval is niet direct levensbedreigend, maar kan grote economische consequenties voor het gebied hebben. Een kwantificering van dit milieurisico, om inzicht te verkrijgen in de ernst hiervan, wordt aanbevolen.

Wageningen, 24 januari 2001

MARITIME RESEARCH INSTITUTE NETHERLANDS

Ir. J.H. de Jong
Manager MSCN
MARIN's Nautical Centre MSCN

REFERENTIES

- 3.1 World fleet statistics, 1998
Lloyds Register, London
- 3.2 World Shipbuilding, The Challenges ahead
Drewry Shipping Consultants Limited, January 1999
- 3.3 Ship dimensions in 2020
Lloyd's Register Management Services, May 1998
- 3.4 Wijnolst, N.; M. Scholtens, F. Waals
Malaccamax, The ultimate container carrier;
Delft University Press, 1999
- 4.1 Nut en noodzaak verruiming vaarweg van en naar de havens in het
Scheldebekken
Policy Research Corporation, April 2000
- 5.1 Approach channels, a guide for design
Supplement to PIANC Bulletin 95, June 1997
- 5.2 Wierenga, J. en P.J. Rijkoort
Windklimaat van Nederland
Staatsuitgeverij, 1983
- 5.3 Drijfhout van Hooff, J.F.
Aids to marine navigation, Volume II
MARIN, Report R-238, June 1982
- 7.1 Richtlijnen vaarwegen
Commissie vaarwegbeheerders (CVB)
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, juni
1996
- 9.1 W.E. Warren and M. Pöyhönen of RAND Europe, C. van der Tak and J.H. de
Jong of MARIN
POLSSS--Policy for Sea Shipping Safety: Executive Summary
RE-98.005, December 1998 RAND Europe / MARIN
- 9.2 C. van der Tak (MARIN) en J. Heitink (AVIV)
Monitoring Nautische Veiligheid / De Nulmeting
MARIN/AVIV, juli 2000

TABELLEN

FIGUREN

APPENDIX A

OVERZICHT VAN SCHEEPSAFMETINGEN PER KLASSE

APPENDIX B

**RESULTATEN VAN DIMENSIONERINGSBEREKENINGEN
VOLGENS PIANC**

APPENDIX C

VOORBEELD VAN EEN GEULDIMENSIONERINGSBEREKENING VOLGENS DE MSCN-METHODE

APPENDIX D

BESCHRIJVING VAN HET MANS-MODEL

APPENDIX E

OVERZICHT VAN HET SCHELDE-ESTUARIUM